

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ) _____
Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера (НОЦ Н.М. Кижнера) _____
Направление: 18.04.01 «Химическая технология» _____
Профиль: «Химическая технология неорганических веществ и материалов» _____

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Технологические особенности использования золы Северной ТЭЦ в производстве асфальтобетонов»

УДК 665.775.4:621.182.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ6В	Доржиева Альбина Баировна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фролова И. В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черепанова Н. В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Ю. В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
НОЦ Н. М. Кижнера	Краснокутская Е. А.	д.х.н.		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Запланированные результаты обучения по программе
18.04.01 «Химическая технология»

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности

P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ) _____
Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера (НОЦ Н.М. Кижнера) _____
Направление: 18.04.01 «Химическая технология» _____
Профиль: «Химическая технология неорганических веществ и материалов» _____

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Казьмина О. В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ6В	Доржиевой Альбине Баировне

Тема работы:

«Технологические особенности использования золы Северской ТЭЦ в производстве асфальтобетонов»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 21.02.2018 №1199/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	В качестве объектов исследования взять золу Северской теплоэлектроцентрали и битумную эмульсию марки ЭБК-1, провести литературный обзор по тематике научно-исследовательской работы. В экспериментальной части предоставить методики проведения экспериментов, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Введение; литературный обзор; методы исследований; обсуждение результатов исследований; финансовый менеджмент; ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; заключение.

Перечень графического материала	Слайды презентации
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения социально-гуманитарных наук, к.ф.н., Черепанова Наталья Владимировна
Социальная ответственность	Доцент отделения контроля и диагностики, к.т.н., Волков Юрий Викторович
Раздел на английском языке	Доцент отделения иностранных языков, ведущий тестолог центра обеспечения качества образования, к.п.н., Парнюгин Александр Сергеевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1.1 Золошлаковые отходы 1.1.1 Классификация золошлаков 1.1.2 Состав и свойства зол и шлаков 1.2 Отечественный опыт применения зол и золошлаковых смесей 1.2.1 Применение в сельском хозяйстве 1.2.2 Применение в металлургии 1.2.3 Применение в строительной индустрии 1.2.4 Применение в дорожном строительстве 1.3 Зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н. М. Кижнера	Фролова Ирина Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ6В	Доржиева Альбина Баировна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ6В	Доржиева Альбина Баировна

Подразделение	ИШНПТ	Отделение	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология неорганических веществ и материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Амортизация специального оборудования составила 38708 руб., итоговая плановая себестоимость НИ 529632,23 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления на социальные нужды (30,2 %) составили 70124,33 руб.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1.1. Потенциальные потребители результатов исследования 1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 1.3. Диаграмма Исикавы 1.4. SWOT-анализ 1.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации 1.6. Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования
2. <i>Планирование научно-исследовательских работ</i>	2.1. Структура работ в рамках исследования 2.2. Организационная структура проекта
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	3.1. Иерархическая структура проекта 3.2. Разработка графика научного исследования 3.3. Бюджет научного исследования 3.4. Основная зарплата исполнителей работы 3.5. Страховые отчисления 3.6. Накладные расходы 3.7. Формирование бюджета затрат НТИ
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	4.1. Оценка сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Сегментирование рынка 2. Диаграмма Исикавы 3. Матрица SWOT 4. График проведения и бюджет НТИ
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черепанова Н. В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ6В	Доржиева Альбина Баировна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ6В	Доржиева Альбина Баировна

Подразделение	ИШНПТ	Отделение	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология неорганических веществ и материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования являются зола Северской ТЭЦ и битумная эмульсия марки ЭБК-1.
2. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения: - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Работа проводилась в лаборатории на первом этаже второго корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета. Процесс заключается в получении вяжущего на основе золы и битумной эмульсии, с дальнейшим его гранулированием. Могут возникнуть: - вредные факторы (метеоусловия, освещение, шумы, вибрация); - опасные факторы (термического характера, электрической и пожарной природы); - негативное воздействие на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу); - чрезвычайные ситуации (техногенного, экологического и социального характера).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	1.1. Вредные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации проектируемого решения: – Запыленность рабочей зоны; – Нарушение микроклимата; – Недостаточность освещения рабочего места; 1.2. Опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации проектируемого решения: – Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; – Поражение электрическим током. 1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.
2. Экологическая безопасность 2.1. Анализ влияния объекта исследования и процесса исследования на окружающую среду. 2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	2.1. Влияние объекта исследования и процесса исследования на окружающую среду: – Загрязнение атмосферы. 2.2. Мероприятия по защите окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	3.1. Возникновение пожара 3.2. Меры по ликвидации чрезвычайных ситуаций и последствий

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	4.1. Организационные мероприятия обеспечения безопасности; 4.2. Особенности законодательного регулирования проектных решений.
Перечень графического материала:	
1. Эскизные графические материалы к расчётному заданию:	1. План размещения светильников 2. План эвакуации

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Юрий Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ6В	Доржиева Альбина Баировна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 148 страниц, 18 рисунков, 51 таблицу, 88 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: золошлаковый материал, битумная эмульсия, асфальтобетонные смеси, характеристики золы, механическая прочность, водопоглощение.

Объектами исследования являются зола Северской ТЭЦ и битумная эмульсия марки ЭБК-1 компании ООО «Битумная эмульсия».

Цель работы: получение гранулированной золобитумной смеси для дальнейшего применения в дорожном строительстве.

Метод или методология проведения работы (исследования) и аппаратура: метод ситового анализа, гранулирование методом окатывания; определение характеристик золы, влажности, водопоглощения, механической прочности; сушильный шкаф, аналитические весы, термостат, прибор для определения прочности при раздавливании, тарельчатый гранулятор; подбор оптимального состава смеси на основе золы и битумной эмульсии.

Полученные результаты и их новизна: разработано модифицированное гранулированное вяжущее на основе золы и битумной эмульсии для дорожного строительства.

В процессе исследования проводились: определение характеристик золы; подбор оптимального состава смеси на основе золы и битумной эмульсии; гранулирование полученной смеси; определение влажности, водопоглощения, механической прочности полученного материала.

В результате исследования получено гранулированное золобитумное вяжущее.

Степень внедрения: результаты исследования могут быть использованы в качестве теоретической основы для внедрения золобитумного вяжущего в дорожное строительство. Основные результаты докладывались на XXI и XXII Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова (г. Томск, 2017, 2018 гг.) и на VI

Международной научно-технической молодежной конференции «Высокие технологии в современной науке и технике».

Область применения: дорожное строительство.

Экономическая эффективность / значимость работы: при использовании техногенных отходов решается экологическая проблема, улучшается экономическая ситуация.

В будущем планируется: внедрение золобитумного вяжущего в дорожное строительство.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль

ГОСТ – Государственный стандарт

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
2. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
3. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
4. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
5. ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».
6. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».
7. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95».
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
9. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».
10. СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2)».

Оглавление

Введение	14
1 Литературный обзор	16
1.1. Золошлаковые отходы	16
1.1.1. Классификация золошлаков	17
1.1.2. Состав и свойства золы и шлаков	19
1.2. Отечественный опыт применения зол и золошлаковых смесей	23
1.2.1. Применение в сельском хозяйстве	24
1.2.2. Применение в металлургии	24
1.2.3. Применение в строительной индустрии	26
1.2.4. Применение в дорожном строительстве	32
1.3. Зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей	37
1.4. Нефтяные битумы и битумные эмульсии	39
1.5. Асфальтобетонные смеси и асфальтобетон	44
1.5.1. Технические требования	45
1.6. Гранулирование	47
1.6.1. Гранулирование окатыванием	49
2 Методы исследования	51
2.1. Определение влажности	51
2.2. Определение гранулометрического состава	52
2.3. Определение удельной поверхности	54
2.4. Определение насыпной плотности	57
2.5. Определение истинной плотности	58
2.6. Вещественный состав золы ТЭЦ	59
2.7. Определение механической прочности гранул	61
2.8. Определение потери массы при прокаливании	62
2.9. Определение водопоглощения заполнителя	63
3 Экспериментальная часть	65

3.1. Характеристика объекта исследования	65
3.2. Получение гранул для дорожного строительства	69
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	74
4.1. Предпроектный анализ	74
4.2. Инициация объекта	82
4.3. Планирование управления научно-техническим проектом	84
4.4. Оценка сравнительной эффективности исследования	100
5 Социальная ответственность	103
5.1. Вредные производственные факторы	103
5.2. Опасные производственные факторы	114
5.3. Мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	117
5.4. Экологическая безопасность	118
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	119
5.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	120
Заключение	123
Список публикаций студента	125
Список использованных источников	126
Приложение А	136

Введение

В настоящее время большая часть электроэнергии в России вырабатывается в результате сжигания углей, сланцев, торфа, следовательно, образуется большое количество отходов, которыми являются золошлаковые смеси. В связи с этим увеличиваются количество золоотвалов, что приводит к большим потерям земельных площадей, к экологической напряженности и является угрозой для окружающей среды и здоровья людей.

Вопрос утилизации отходов ТЭЦ является **актуальным**, так как частицы золы, которые содержат токсичные вещества, могут поступать в атмосферу и распространяться на большие расстояния в результате ветровой эрозии, тем самым загрязняя окружающую среду.

На данный момент золошлаковые материалы нашли применение во многих отраслях, например:

- в сельском хозяйстве – для удобрений;
- в металлургии – в качестве перспективной минерально-сырьевой базы редких элементов, так как они содержат в своем составе такие редкие элементы как, галлий, германий, ванадий, вольфрам, скандий, иттрий;
- в строительной индустрии – в качестве сырья для цементов, бетонов, пористых заполнителей, а так же в составе таких материалов, как силикатные, керамические, теплоизоляционные и другие.
- в дорожном строительстве – для сооружения земляного полотна, для укрепления оснований, как заполнители и минеральный порошок в асфальтобетонах.

Целью магистерской диссертации является получение гранулированной золобитумной смеси для дальнейшего применения в дорожном строительстве.

Задачи исследования:

1. Определить физико-механические характеристики золы;
2. Подобрать оптимальный состав смеси на основе золы и битумной эмульсии для получения гранул;

3. Определить физико-механические характеристики готового продукта;

4. Сделать выводы.

Объектами исследования являются зола Северской ТЭЦ и битумная эмульсия марки ЭБК-1 компании ООО «Битумная эмульсия».

1 Литературный обзор

1.1. Золошлаковые отходы

При сгорании топлива его минеральная составляющая претерпевает сложные химические и фазовые превращения. Основным глинистым минералом некоторых углей является каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. При нагревании до температуры 450 – 650 °C происходит разложению каолинита и переход в химически активный безводный метакаолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. При дальнейшем повышении температуры свыше 900 °C образуется фаза муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. В процессе образования данных оксидов происходят следующие реакции:

- карбонаты кальция и магния разлагаются при температуре 600 – 1000 °C;
- карбонат железа разлагается в интервале температур 400 – 500 °C;
- полиморфное превращение кварца при 573 °C;
- пирит окисляется при 400 – 700 °C с образованием оксидов железа и серы;

В полувосстановительной среде происходит переход гематита в магнетит, FeO восстанавливается до железа или переходит в легкоплавкие силикаты при соединении с кремнеземом. При температурах выше 1200 °C появляется стекловидная фаза. Вследствие данных превращений, которые претерпевает минеральная часть топлива, происходит образование золы и шлака, обладающих новыми свойствами [1].

Зола – это тонкодисперсный материал, который состоит в большей степени из частиц размером 5 – 100 мкм. Она образуется из примесей в минеральной составляющей топлива в результате полного его сгорания и последующем осаждении в золоуловителях дымовых газов [2]. Содержание золы при сгорании топлива различно:

- в каменных и бурых углях – 1 – 45 %;
- в горючих сланцах – 50 – 80 %;
- в топливном торфе – 2 – 30 % [3].

Топливный шлак – это грубодисперсный материал размером от 0,315 мм и более. Он образуется из минеральной части твердого топлива и скапливается в нижней части топочного пространства тепловых агрегатов и удаляется в жидком или спекшемся состоянии [4].

Золошлаковая смесь – это полидисперсная смесь из золы-уноса и топливного шлака, которая образуется при их совместном удалении на тепловых электростанциях.

Золоотвал – это место где складировуют золу-уноса и шлака в виде золошлаковой смеси.

Золошлаками называются продукты (зола-унос, шлак топливный, золошлаковая смесь) комплексного термического преобразования горных пород и сжигания твёрдого топлива [5].

1.1.1. Классификация золошлаков

На состав и свойства золошлаков влияют: состав минеральной части топлива, его теплотворная способность, режим сжигания, способ улавливания и удаления, место отбора золошлаков в улавливающих установках или в золоотвале.

Золошлаки в зависимости от вида сжигаемого угля классифицируются на следующие виды:

- антрацитовые – сжигаемым углем является антрацит, полуантрацит и тощий каменный уголь;
- каменноугольные – сжигаемым углем является каменный уголь;
- буроугольные – сжигаемым углем является бурый уголь [5].

Исходя из способа удаления, золошлаки подразделяются на следующие виды:

- зола сухого отбора (зола-унос) – это тонкодисперсный материал, состоящий в большей степени из частиц размером 5 – 100 мкм, который обладает относительно однородным химическим составом, небольшим содержанием несгоревших частиц топлива. По химико-минералогическому составу соответствует составу минеральной части сжигаемого топлива;

- зола мокрого отбора (зола гидроудаления) – зола, которая образуется в виде пульпы, которая удаляется с помощью воды по золопроводам. В производстве строительных материалов преимущественно используют золу пневмоудаления, так как она сухая, содержит малое количество несгоревших частиц и благодаря данному способу удаления не происходит смерзания золы в зимний период в отвалах [2].

По химическому составу золы и шлаки подразделяются:

- Основные золы – содержат гидравлически активные компоненты и применяются в качестве самостоятельного вяжущего;
- Кислые золы – применяются как активные минеральные добавки;
- Нейтральные.

Так же золы подразделяются на высококальциевые, в которых преобладают кристаллические фазы, и низкокальциевые, в которых преобладают стекло и аморфизованное глинистое вещество [2].

Таблица 1 – Характеристика высококальцевых и низкокальцевых зол

Вид	Разновидность	Содержание элементов, % по массе, в расчете на оксиды			
		$CaO + MgO$	$SiO_2 + Al_2O_3$	$Fe_2O_3 + FeO + R_2O$	SO_3
Высококальциевые	Высокосульфатные	> 20	-	-	> 5
	Низкосульфатные				< 5
Низкокальциевые	Кислые	< 20	< 70	> 10	-
	Сверхкислые		> 70	< 10	

По величине удельной поверхности золы делят на:

- тонкодисперсные (S более $4000 \text{ см}^2 / \text{г}$);
- среднедисперсные (S от 2000 до $4000 \text{ см}^2 / \text{г}$);
- грубодисперсные (S менее $2000 \text{ см}^2 / \text{г}$) [2].

По насыпной плотности золы делятся на легкие (менее $800 \text{ кг} / \text{м}^3$), средней плотности (от 800 до $1000 \text{ кг} / \text{м}^3$) и тяжелые (более $1000 \text{ кг} / \text{м}^3$) [2].

1.1.2. Состав и свойства золы и шлаков

Вследствие того, что при температурах сжигания топлива ($1200 - 1700^\circ\text{C}$) происходит изменение минеральных примесей и протекает много физико-химических процессов (выделение химически связанной воды, силикатов и алюмосиликатов; разложения карбонатов; реакции, происходящие в твердой фазе; плавление, кристаллизация, силикатообразование, стеклообразование и другие) золы и шлаки ТЭЦ имеют сложный химический и фазово-минералогический составы [6].

Зола многих видов топлива на $98 - 99 \%$ состоит из оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, титана, серы, которые могут быть связаны в сложные химические соединения. Также зола может содержать в своем составе практически все элементы таблицы Д.И. Менделеева. Из микроэлементов в золе присутствуют такие элементы как: бор, молибден, германий, галлий, уран, мышьяк, ванадий, ртуть, цинк, свинец, никель, кобальт, фтор и другие. Химический состав зол может колебаться в достаточно широких пределах [1].

Фазово-минералогический состав зависит от минеральной части топлива, которая обладает сложным многообразным составом. В минеральной составляющей всех углей присутствуют:

- кварц;
- глинистые минералы – каолинит и гидрослюда;
- карбонаты – кальцит, доломит, магнезит;

- сульфаты щелочных металлов;
- железо в составе пирита, марказита и гематита.

Вещества в составе золы (шлака) условно можно разделить на три группы: кристаллические, стекловидные и органические. Содержание данных фаз зависят от вида топлива, режима его сжигания и удаления очаговых остатков.

Кристаллическими веществами являются первичные минералы минерального вещества топлива и новообразовавшиеся минералы, которые получились в результате сжигания топлива. Наиболее широкое распространение получили магнетит, гематит, кварц, муллит. В различных количествах присутствуют сульфаты и карбонаты кальция. Из новообразовавшихся минералов присутствуют силикаты, алюминаты, алюмоферриты кальция, которые схожи с минералами цементного клинкера. Некоторые из них обуславливают способность золы шлаков к самопроизвольному твердению в условиях золошлакоотвалов [1].

Стекловидная фаза является продуктом незавершенного равновесия, т.е. превращения не успели пройти полностью до установления равновесного состояния. Данная фаза составляет большую часть, особенно в кислых золах. Разнообразие данной фазы можно свести к четырем группам, которые отличаются друг от друга цветом и показателем преломления:

- А – бесцветное, представляющее собой меллилит и геленит в стекловидной форме, а также окерманит;
- В – желтое, относится к системе $CaO - Fe_2O_3 - SiO_2$, с увеличением содержания CaO и Fe_2O_3 его количество так же увеличивается;
- С – бурое, присутствует в золах с высоким содержанием CaO ;
- D – черное, представляющее собой в большей степени магнетит и гематит в стекловидной форме [7].

Содержание стекла А варьируется в пределах 3 – 50 %, В – от 1 до 30%, С присутствует в малых количествах, D – от 0,5 до 3% [7]. Зола одной ТЭС

обычно имеет несколько стекловидных составляющих, среди которых одна преобладает. Зола бурых и каменных углей, которая содержит от 10 до 15 % CaO , состоит в большей степени из ферроалюмосиликатной стекловидной фазы (содержание Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 достигает 80 – 90 %). Стекловидная фаза мелкой золы в наибольшей степени состоит из оксидов алюминия, калия и натрия, и содержит небольшое количество оксида кальция, по сравнению со стекловидной фазой крупной золы [1].

Зола, полученная из топлив, в которых минеральная часть имела глинистую составляющую, содержит продукты обжига глинистых минералов. Частицы данных минералов находятся в обезвоженном, оплавленном, остеклованном практически до полного превращения в стекло виде. Вид частиц зависит от их размера и условий, при которых сжигалось топливо. Данная группа продуктов находится между кристаллической и стекловидной группами веществ.

Частично метаморфизированная несгоревшая органическая часть топлива (недожог) содержится в золе всех твердых топлив. Их содержание может достигать до 20 % и более в зависимости от течения топочного процесса и реакционной способности топлива. Органическая фаза, преобразовавшаяся в топке, отличается от исходного состояния и находится в виде кокса и полукокса, обладающего небольшой гигроскопичностью и выделением летучих веществ [1]. Недожог может быть в виде самостоятельных органических частиц или как включения в агрегаты, образованные разными фазами [7].

Перечисленные фазово-минералогические составляющие являются основными для золы топлив.

В шлаках жидкого шлакоудаления большую часть составляет стекловидная фаза, твердого – в основном стекловидная фаза, а кристаллическая часть данных шлаков, так же как и у зол, состоит из кварца, магнетита, гематита и муллита. Так же в шлаках может присутствовать анортит, альбит, калиевый полевой шпат, нефелин, лейцит [7].

Таблица 2 – Фазово-минералогический состав золы и шлака ТЭС

Уголь	Состав
Ангренский	Стеклофаза, кварц, кальцит, ангидрит, оксиды железа, силикаты кальция
Донецкий	Стеклофаза, кварц, магнетит, гематит
Карагандинский	Обожженное глинистое вещество, стеклофаза, полевошпат, муллит, кварц, карбонаты, оксиды железа
Львовско-Волынский	Стеклофаза, ангидрит, кальцит, кварц, магнетит, гематит
Назаровский	Стеклофаза, оксид кальция, ангидрит, кальцит, кварц, оксиды железа, четырехкальциевый алюмоферрит, силикаты и алюминаты кальция
Подмосковный	Обожженное глинистое вещество, стеклофаза, гематит, кварц
Челябинский	Стеклофаза, кварц, магнетит, гематит
Кузнецкий	Стеклофаза, кварц, кальцит, магнетит
Харанорский	Кварц, ангидрит, кальцит, слюда, гематит
Экибастузский	Обожженное глинистое вещество, стеклофаза, кварц, магнетит, гематит
Эстонский сланец	Кальцит, кварц, геленит

В данной таблице показан основной фазово-минералогический состав зол из золоулавливающих устройств и шлака разных топлив и ТЭС. Фазовые компоненты указаны по мере убывания их количества.

Наиболее важными физическими свойствами золошлаковых отходов являются:

- гранулометрический состав;
- насыпная и истинная плотности;
- водонасыщение;

- способность к морозному пучению;

Гранулометрический состав золы и шлаков зависит от многих факторов: вид топлива, его подготовка к сжиганию, режим сжигания, способ улавливания золы, место отбора. Насыпная плотность, зависящая от гранулометрического, химического и фазового составов золы, колеблется в пределах $0,6 - 1,3 \text{ г/см}^3$. Истинная плотность золы варьируется в пределах от $1,75$ до $3,5 \text{ г/см}^3$, составляя в среднем от $2,1$ до $2,4 \text{ г/см}^3$ [1].

Так же важной характеристикой сыпучего материала является форма его частиц. Зола твердых топлив обладает частицами разных размеров и форм, вследствие того, что реакции минералообразования происходят в объемах отдельных частиц из-за неоднородного состава топлива. Так как происходит непрерывное изменение неорганической части топлива, то форма частиц различных фракций золы сильно зависит от её химического состава.

Основная часть полностью расплавившихся частиц при охлаждении образует капельки стекла, часто имеющие пузырьки газа, замкнутые редко вскрытые у поверхности. Другие частицы, которые не имеют правильной формы, образованы нерасплавившимися при нагревании частицами кварца, ортоклаза, слюды, извести и других минералов [1].

Известно, что на форму частиц оказывают влияние следующие факторы: температура сгорания топлива, температура размягчения частиц золы, крупность частиц, химический и минералогический состав золы, присутствие в золе несгоревших частиц, конструкция золоуловителей.

1.2. Отечественный опыт применения зол и золошлаковых смесей

Научные исследования и практика дорожного строительства показывают, что золошлаковые материалы могут найти применение во многих отраслях народного хозяйства [8]:

- в сельском хозяйстве – для производства химических удобрений;

- в металлургии – как перспективная минерально-сырьевая база редких элементов [9];
- в строительной индустрии – в производстве цемента, кирпича, изделий из ячеистого бетона, легких заполнителей, стеновых сборных панелей;
- в строительстве – для дамб золошлакоотвалов ТЭС, автодорог, бетонов различного назначения, блоков из шлакобетона, теплоизоляционной засыпки [1].

1.2.1. Применение в сельском хозяйстве

В сельском хозяйстве зола нашла применение в качестве удобрения, содержащего калий. Так же зола содержит много минеральных веществ, которые необходимы растениям – это фосфор, кальций, магний, сера, бор, марганец и другие. Содержание бора, селена, галлия, мышьяка, молибдена, серебра во много раз превосходит их содержание в почве, что благотворно сказывается на питании растений [10].

Корецкий проводил исследования [10] оценки эффективности применения угольной золы при выращивании сельскохозяйственных культур на примере кукурузы и картофеля. Они показали, что эффективность использования золы неоднозначна. При малых количествах она благотворно влияет на рост картофеля, а при большом количестве ухудшает рост картофеля и кукурузы.

1.2.2. Применение в металлургии

Золы и шлаки можно использовать в качестве перспективной минерально-сырьевой базы редких элементов, так как они содержат в своем составе различные редкие элементы, например, галлий, германий, ванадий, вольфрам, скандий, иттрий. При их переработке можно получить десятки тонн в год данных элементов [11].

В.А. Салихов на примере золы и шлаков углей Кузбасса показал, что их можно рассматривать как самостоятельные комплексные рудные

месторождения редких и редкоземельных металлов. Данные металлы находятся на поверхности, следовательно, нет расходов на извлечение, что с точки зрения экономики выгодно [12].

Существует много способов извлечения металлов из золошлаковых отходов. Например, в патенте [13] разработан способ извлечения редкоземельных металлов и иттрия из углей и золошлаковых отходов, с использованием кислотного выщелачивания азотной кислотой и экстракцией из растворов трибутилфосфатом. При применении данного способа можно выделить редкоземельные металлы с высокими показателями извлечения и очистки. Так же появляется возможность снижения затрат на реагенты, благодаря использованию тепла от сжигания угля, которое регенерирует азотную кислоту за счет термического разложения нитратов рафината, образовавшихся при экстракции.

Кроме редких элементов в золошлаковых отходах много соединений железа, алюминия, хрома, никеля, марганца. Из литературы известно, что количество металлов, выбрасываемых совместно с золой, превышает количество, добываемых в природе [14]. Авторы патента [15] предлагают извлекать алюминий и железо путем обработки раствором серной кислоты золошлаковых отходов, экстракцией компонентов, содержащих алюминий, в раствор. Данный способ предполагает предварительную классификацию и многостадийную магнитную сепарацию отходов, благодаря чему происходит полное выделение магнитной фракции, в которой находится железо. Далее немагнитную фракцию обрабатывают раствором ортофосфорной кислоты концентрацией 60 – 85 % 3 часа при температуре 100 – 120 °С, после этого фильтруют и обрабатывают осадок серной кислотой концентрацией 30 %.

1.2.3. Применение в строительной индустрии

Благодаря своему химическому, фазово-минералогическому составу и гидравлической активности золы и шлаки находят широкое применение в производстве строительных материалов.

Применение золошлаковых отходов для производства строительных материалов и в бетонах разного назначения зависит от содержания в них вредных компонентов, которые могут вызывать ухудшение физико-механических характеристик и технологических процессов производства или приготовления, снижать эксплуатационные свойства. Вредными компонентами являются соединения серы, не до конца сгоревшие частицы топлива (уголь, кокс, полукокс), оксиды кальция, магния и щелочных металлов. Так же негативно действуют неустойчивые фазы в золошлаковых отходах, которые разрушают частички золы или гранул шлака при объемных изменениях необожженного глинистого материала, имеющегося в шлаках низкотемпературного сжигания [1].

Производство цементов

В производстве цементов золошлаковые отходы применяются в основном как активная добавка или как алюмосиликатный компонент цементной сырьевой шихты [1].

Известно, что в пылевидных золах, которые получают при сжигании каменных углей Экибастузского, Кузнецкого, Донецкого и др. угольных бассейнов и являются кислыми, отсутствует свободный оксид кальция, что позволяет использовать их как активную добавку при получении обычного портландцемента (содержание золы до 15 %) и пуццоланового портландцемента (содержание золы 25 – 40 %).

Авторы патента [16] предлагают способ получения цемента, за счет смешивания и совместного помола портландцементного клинкера с гипсом и активной минеральной добавкой, которая содержит алюминий и кремний. В качестве активной минеральной добавки применяют золу-уноса ТЭС термически обработанную при 950 – 1050 °С, при этом образуются

дегидратированные глинистые минералы, переходящие в дальнейшем в высокоактивные остатки кристаллов. Данные кристаллы, состоящие из алюмосиликатов, при затворении цемента водой реагируют с гидроксидом кальция с образованием водонерастворимых гидросиликатов кальция, следовательно, улучшаются прочность цемента и его эксплуатационные характеристики. Количество добавки составляет 5 – 25 % от массы клинкера. Благодаря этому способу происходит увеличение базы сырья для цементной промышленности, улучшение экономической обстановки в районах расположения ТЭС, снижение затрат на производство цемента, так же повышается его качество и эксплуатационные характеристики.

Производство бетонов

Отечественная практика по использованию золы в бетонах показывает, что предпочтение отдается золам с низким содержанием СаО (до 10 %), так как они достаточно стабильны, обладают относительной однородностью по химическому и гранулометрическому составу и не обладают отрицательным влиянием на равномерность изменения объема смешанного вяжущего вещества. Но они менее гидравлически активны, по сравнению с высококальциевыми золами. Однако невысокая гидравлическая активность имеет ряд преимуществ:

- уменьшает трещинообразование конструкций;
- происходит дополнительное нарастание прочности и плотности бетона, за счет структурных новообразований, образующихся путем замедленного, немного ускоряющегося во времени связывания свободного СаО, который образуется в бетоне при гидратации цемента;
- улучшается коррозионная стойкость к воздействию мягких вод и вод с содержанием сульфатов, за счет структурных новообразований [1].

Высококальциевые золы менее пригодны в качестве добавки в бетоны, так как, обладая высокой гидравлической активностью, а иногда и самостоятельными вяжущими свойствами, они неоднородны по химическому составу и большое количество свободного СаО находится в пережженном виде.

Однако эти золы могут применяться с предварительным гашением свободного СаО или размолем золы, что усложняет технологический процесс и повышает стоимость ее приготовления. Тем не менее, высококальциевая зола обладает рядом преимуществ: малая потребность в воде, небольшое содержание частиц несгоревшего топлива. Так же при добавлении высококальциевой золы морозостойкость бетона выше, чем при добавлении низкокальциевой [1].

Авторы работы [17] показали, что при совместном применении золы-уноса и микрокремнезема в виде минеральной добавки можно получить бетоны с высокими показателями прочности из самоуплотняющихся смесей, которые укладываются и равномерно распределяются без вибрации.

Коровкин М.О. и Петухов А.В. в своей работе [18] получили высокопрочный бетон из смеси золы с большим содержанием кальция и цемента с добавлением суперпластификатора. Они выявили, что зола-уноса влияет на прочностные характеристики в более поздние сроки, так как первоначальное твердение происходит благодаря гидратации цементного клинкера. Так же у полученных высокопрочных бетонов не происходит сброса прочности из-за увеличения объема продуктов, образующихся в результате химической реакции воды с пережженными оксидами кальция и магния.

В производстве тяжелого бетона используют золошлаковую смесь для частичной или полной замены песка. Рационально вводить золошлаковую смесь взамен мелкозернистого песка, который требует большого расхода цемента. При использовании золошлаковой смеси улучшается гранулометрический состав, бетонная смесь лучше укладывается и снижается стоимость бетона за счет уменьшения использования дорогостоящего заполнителя, а иногда и цемента.

При использовании золы-уноса в бетонных смесях выявлены следующие преимущества [19]:

- бетонная смесь становится более связанной;
- снижается потребление цемента на 30 – 40% по сравнению с обычным бетоном;

- улучшается трещиностойкость бетона [20];
- уменьшается ползучесть;
- улучшается связь бетона со сталью за счет увеличения поверхности контакта между ними;
- снижается масса бетонных конструкций за счет уменьшения плотности бетона [21].

Производство легкого и ячеистого бетона

Золошлаковые смеси применяются в качестве пористого зольного заполнителя в керамзитобетонах, в бетонах с использованием глиноземного керамзита, зольного аглопоритового гравия, безобжигового зольного гравия. Использование золы ТЭС в легких бетонах экономически выгодно, так как сокращает расход керамзитового гравия на 15 – 20 %, а цемента на 10 – 15 %.

Прочность и морозостойкость керамзитобетона с использованием золы из золоотвалов, полученных при сжигании подмосковных углей, зависит от дисперсности и фазового состава золы. Из золы, удельная поверхность которой меньше $3500 \text{ см}^2/\text{г}$, возможно получение морозостойкого керамзитобетона с высокой структурной прочностью [22].

Использование конструкций и материалов из зольного ячеистого бетона позволяет снизить их стоимость, они обладают хорошей теплоизоляцией, долговечны и надежны в эксплуатации [1].

При получении пеноблоков [23] золошлаковая смесь заменяет песок и улучшает прочность на сжатие и морозостойкость блоков, а также уменьшает их вес. Кроме этого необходимо отметить заметные результаты и улучшение показателей разработок в таких областях как производство кирпича из золошлаков и производство ячеистых бетонов автоклавного твердения [24].

В ячеистых бетонах золу применяют взамен цемента, извести или песка тонкого помола. Вид золы определяет состав смеси, например, при применении золы эстонских сланцев смесь будет содержать 50 % золы и 50 % песка тонкого помола. При применении золы каменных углей соотношение золы, извести и

цемента составляет 1 : 0,5 : 0,5, так как эти золы состоят из большого количества кремнеземистого компонента и небольшого количества весты [1].

Для производства ячеистых бетонов часто вводят пористые заполнители, так как они снижают усадку и ползучесть. Например, при добавлении зольного аглопорита в пенозолобетонную смесь или гранулированного шлака и шлаковой пемзы в газозолобетон достигается уменьшение усадки и ползучести в 2 раза.

Известен способ [25] получения ячеистого бетона из смеси, состоящей из золы-уноса ТЭЦ электрофильтрового отбора, цемента, известково-зольная смесь с соотношением извести и золы 1 : 1, алюминиевая пудра в качестве газообразователя и шлам, полученный из отходов приготовления ячеистого бетона. При данном способе производства ячеистый бетон обладает повышенными показателями морозостойкости, сохраняя при этом высокие прочностные и теплозащитные характеристики.

В Красноярской государственной архитектурно-строительной академии разработана бесцементная композиция для получения пенобетона [26], приготовленная из смеси, состоящей из высококальциевой золы-уноса ТЭЦ, микрокремнезема, минерализованных стоков, т.е. отходов металлургического производства цветных металлов, которые состоят из хлоридов натрия и кальция, пенообразователя и воды. Данная композиция является экономичной, так как в ней используются попутные продукты различных отраслей промышленности. Так же разработанная смесь увеличивает показатели прочности бетона.

Пенобетон можно получать из сырьевой смеси [27], состоящей из портландцемента, золы-уноса ТЭС, смолы воздухововлекающей, карбоксиметилцеллюлозы, суперпластификатора С-3, мочевины, асбеста 6 сорта и воды. При данном способе снижается расход портландцемента и повышается прочностные характеристики пенобетона.

Производство искусственных заполнителей

Золошлаковые отходы входят в состав таких пористых заполнителей, как зольный гравий и песок, зольный аглопорит, аглопоритовый щебень, глинозольный керамзит и безобжиговый зольный гравий.

Сырьем для зольного гравия являются золы ТЭС сухого удаления, которые обладают большими коэффициентами вспучивания и интервалом плавкости, кроме того содержат небольшое количество несгоревших частиц угля. Для производства зольного гравия зола должна содержать:

- не больше 10 % частиц несгоревшего угля;
- содержание Fe_2O_3 больше 7%;
- содержание оксидов кальция и магния меньше 8% [7].

Для получения зольного гравия необходимо тщательно подготовить золу, т.е. удалить избыток несгоревшего угля, скорректировать состав золы с использованием тугоплавкой глины при легкоплавких золах и если зола тугоплавкая осуществить подшихтовку легкоплавкими минералами или солями [1].

Для аглопоритового гравия сырьем служит зола сухого удаления, так же возможно использование золы из золоотвалов, которую предварительно обезвоживают, а в приготовлении глинозольного керамзита подходят практически все виды зол, благодаря чему возможно получение продукта с широким спектром свойств [7].

Глинозольный керамзит – это искусственный пористый материал, который получается в результате вспучивания при обжиге зол ТЭС с добавлением глины. Зола в состав шихты глинозольного керамзита можно добавлять в количестве 30 – 70 %. Вследствие того, что зола для получения данного керамзита берется из золоотвалов, к ней предъявляются повышенные требования, например, запрещается складирование на отвалах отходов посторонних производств и складирование золы и шлака по отдельности.

Разработан способ [28] получения легкого заполнителя для бетонов, который состоит из золы-уноса, образовавшихся при сжигании каменных

углей, глины, неабразивного шлама карбида кремния, в качестве газообразующего компонента, а так же щебеночного отсева магматической породы. При использовании данной смеси в производстве заполнителя снижается температура прокаливания и обжига заполнителя.

1.2.4. Применение в дорожном строительстве

Для дорожного и аэродромного строительства наиболее эффективно применять смеси золы с цементом или известью. Наиболее подходящими для дорожного строительства являются золы сухого улавливания, которые используются как:

- самостоятельное вяжущее, которое медленно твердеет, при устройстве оснований дорожных покрытий из укрепленных грунтов и каменных материалов;
- активная гидравлическая добавка с добавлением цемента или извести для устройства оснований;
- активная гидравлическая добавка в сочетании с вяжущими – битумными или полимерно-битумными;
- в качестве минерального порошка при приготовлении асфальтобетонной смеси [8].

Золошлаковые отходы используются как материал для сооружения насыпей земляного полотна или как гидравлическая добавка, обладающая малой активностью, с добавлением цемента для укрепления грунтов на дорогах [8].

Для определения пригодности использования золошлаковых отходов при возведении земляного полотна необходимо установить значение относительного морозного пучения ($K_{\text{пуч}}$), которое равно отношению величины вертикальной деформации пучения при промораживании образца к его изначальной высоте, которая выражена в процентах. Степень пучинистости материалов определяют при использовании образцов, которые выдерживают 7, 28 и 90 суток [5].

По степени морозостойкости золошлаковые смеси можно разделить на следующие группы:

- непучинистые ($K_{\text{Пуч}}$ меньше 1%);
- слабо пучинистые ($K_{\text{Пуч}}$ от 1 до 3%);
- пучинистые ($K_{\text{Пуч}}$ от 3 до 10%);
- сильно пучинистые ($K_{\text{Пуч}}$ больше 10%) [8].

Непучинистые и слабо пучинистые золошлаковые смеси подходят для возведения насыпей земляного полотна, а сильно пучинистые для возведения насыпей земляного полотна не допускаются [8].

Золы уноса сухого улавливания, применяющиеся как самостоятельное вяжущее или активный компонент, смешанный с цементом или (и) известью, должны соответствовать требованиям, которые приведены в таблице 3 [29].

Таблица 3 – Требования к золе уноса сухого улавливания

Нормируемый показатель	Требования к золе уноса		
	В качестве самостоятельного вяжущего	Как к активному компоненту	
		С добавлением цемента	С добавлением извести
Содержание свободного кальция, %	> 8	< 4	-
Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	> 3000	>3000	>3000
Содержание сернистых и сернокислых соединений – (в пересчете на SO_3), %	< 6	< 3	-
Потери при прокаливании, %	<5	<10	<10

Содержание золы-уноса сухого улавливания составляет:

- 20% (массы смеси) – при использовании золы в качестве самостоятельного вяжущего;

- 15 – 20% (массы смеси) – при использовании золы в качестве активного компонента совместно с 4 – 6% цемента, 5 – 8% - с известью [8].

Золы так же можно использовать как минеральный порошок для асфальтобетонных смесей и асфальтобетона. Материал, полученный путем смешения битума с минеральным порошком, называется асфальтовым вяжущим [30].

Минеральный порошок для асфальтобетона представляет собой материал, который получен путем помола горных пород или твердых отходов промышленного производства. Применяют активированные порошки, получаемые помолом горных пород или твердых отходов промышленного производства в присутствии активирующих веществ. В качестве активирующего вещества используются: смесь ПАВ или продуктов, содержащих ПАВ, с битумом [29]. Качество минерального порошка характеризуют минералогический состав, тонкость помола, удельная поверхность, степень набухания смеси порошка с битумом, влажность.

Набухание смеси битума с минеральным порошком – это характеристика, косвенно показывающая содержание глинистых частиц в порошке, а также устойчивость асфальтобетона в условиях переменного увлажнения и высыхания. Данная величина определяется увеличением объема образца из смеси, состоящей из минерального порошка и битума, после насыщения водой в вакууме и дальнейшего выдерживания в горячей воде [31].

Битумоемкость определяется массовым количеством минерального масла, при котором смесь его с порошком (100 см^3 абсолютного объема) имеет такую консистенцию, при которой металлический пестик, имеющий цилиндрическую форму диаметром $10 \pm 0,1 \text{ мм}$, погружается в смесь на глубину 8 мм [32].

Влажность – это способность минерального порошка впитывать влагу в естественном состоянии. В присутствии влаги минеральный порошок начинает комковаться при хранении, что ухудшает смачивание битумом поверхности минеральных составляющих.

Минеральные порошки классифицируются на марки:

- МП-1 – порошки неактивированные и активированные, которые получают из карбонатных горных пород;
- МП-2 – порошки из некарбонатных горных пород, твердых техногенных отходов и порошкообразных техногенных материалов [10].

Основные показатели и характеристики порошков должны отвечать требованиям, указанным в таблице 4 [30].

Таблица 4 – Основные показатели и характеристики

Наименование показателя	Значение для порошка марки		
	МП-1		МП-2
	Неактивированный порошок	Активированный порошок	
Гранулометрический состав, % по массе:			
Мельче 1,250 мм	100	100	Больше 95
0,315 мм	Больше 90	Больше 90	От 80 до 95
0,071 мм	От 70 до 80	Больше 80	Больше 60
Пористость, %, не более	35	30	40
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	<2,5	<1,8	<3,0
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, %	Не нормируется		<0,7
Показатель битумоемкости, г	Не нормируется		<80
Влажность, % по массе	1,0	Не нормируется	<2,5

В практике дорожного строительства проведено множество исследований по определению пригодности золошлаковых отходов для использования в виде минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси [8, 33, 34].

Добавление золы сопровождается повышением стабильности битума в составе смеси, улучшением прочностных характеристик, водостойкости и

сдвигу устойчивости асфальтобетонных смесей, повышением стойкости к остаточным деформациям и снижением колееобразования покрытия при эксплуатации [35].

Золошлаковые отходы из золоотвалов ТЭС впервые были использованы для возведения земляного полотна при строительстве подъездных дорог в таких городах как Тверь, Воркута и др. [36]. Исследования показали, что наиболее пригодными являются золошлаковые отходы, полученные при сжигании каменного угля. Известно, что значения относительного морозного пучения торфяных, буроугольных золошлаковых смесей и золы уноса составляет 3,4 – 7,4 %, каменноугольных – 1,5 – 3 %. Так же золошлаковые смеси способны хорошо уплотняться.

Золы-уноса сухого удаления можно использовать при повышенной влажности связных грунтов, так как они осушают верхнюю часть земляного полотна. Расход золы при этом составляет 20 – 35% массы обрабатываемого грунта, что дает возможность за 3 – 4 суток добиться оптимальной влажности для обработки и уплотнения песка и связного грунта в верхней части земляного полотна, за счет связывания лишней воды [8].

Золошлаковые отходы так же применяются для устройства подстилающих и нижних слоев оснований [37-39], полной и частичной замены вяжущих при добавлении к грунтам цемента и извести, которые стабилизируют грунт, как минеральный порошок в асфальтовых бетонах и растворах, как добавки в дорожных цементных бетонах [40-43].

С применением высококальциевой золы, в которой содержание свободного оксида кальция до 15 %, был разработан состав грунта для устройства основания дорожного покрытия переходного типа [44]. При применении данного состава повышается срок использования укрепленного грунта, за счет повышения прочностных характеристик, повышения водостойкости и морозостойкости.

Буравчук Н. И. и Гурьянова О. В. в своем исследовании [45] показали, что использование золы в асфальтобетонных смесях экономит до 30 % цемента.

При этом показатели прочности и морозостойкости соответствуют требованиям СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги».

1.3. Зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей

Одной из стран Европы, в которой широко используются золошлаковые отходы в дорожном строительстве, является Франция [46]. Золы-уноса используются при сооружении дорожных покрытий. Исходя из состава и свойств, которыми они обладают, их можно применять:

- в качестве минерального материала, который дополнительно укрепляется с использованием гидравлического вяжущего;
- в нижних слоях основания дорожного покрытия;
- в верхних слоях основания в смеси с вяжущим или в качестве самостоятельного вяжущего;
- в асфальтобетонных покрытиях в качестве минерального порошка;
- в цементобетонных покрытиях как добавка, благодаря которой улучшается состав бетона.

В нижних слоях оснований нашли широкое распространение смесь из золы-уноса и известью или гипса, а в верхних слоях смесь из дробленого гравия и песка, которая укреплена зольно-известковым вяжущим. Наилучший результат дало соотношение извести и золы 1:4.

В Англии зола-уноса, получаемая при сжигании каменного угля, начала применяться с начала 60-х годов в качестве материала для сооружения насыпей. Исследованиями доказано, что зола-уноса является материалом, который можно использовать при возведении насыпей и устройстве нижних слоев основания дорожного покрытия, которые находятся на глубине более 40 см от поверхности покрытия, так как они не обладают достаточной морозоустойчивостью [47].

Исследования, которые проводились в США, показывают, что золы можно применять так же для гидротехнических насыпных сооружений [48]. Из

опытов, проведенных на свежих уложенных образцах, по измерению сопротивляемости сдвигу видно, что золы-уноса имеют некоторое сцепление при увлажнении за счет поверхностного натяжения в поровой воде.

В Китае для строительства дорожного покрытия в качестве несущего слоя использовалась смесь, содержащая известь и каменноугольную золу [49] в соотношении 1:4. В случаях когда содержание извести составляет 12 % прочность образцов на 56-ой день составляет 33,2 кгс/см². На скоростной магистрали Nanjing-Yancheng в качестве основания дорожных покрытий был применен грунт, укрепленный комплексным вяжущим – цементом, известью и золой-уноса [50].

В Финляндии золы-уноса, получаемые при сжигании каменных углей, широко используются в асфальтобетонах в качестве добавки к известковым наполнителям [51]. С использованием золы-уноса были укреплены болотистые грунты на одном из участков дороги.

В Индии зола уноса применяется при укреплении грунтов насыпи и для устройства дорожных покрытий [52]. Так же есть проекты использования золы-уноса для строительства этажных зданий.

Так же возможно применение золы в гидротехническом бетоне, например, в США были возведены плотины Дворшак в штате Айдахо, Хангри Хорс и Кеньон Ферри в штате Монтана, где зола используется без дополнительной обработки и добавляется к бетонной смеси в качестве слабоактивной гидравлической добавки. Данная добавка уменьшает выделение тепла в бетоне, тем самым снижает возможность термического трещинообразования [7].

На рисунках приведены некоторые примеры современного строительства с использованием золы.



Рисунок 1 – Башня
Пикассо



Рисунок 2 –
Таллиннская
телебашня



Рисунок 3 – Башня
Коммерцбанк



Рисунок 4 – Burj
Dubai

1.4. Нефтяные битумы и битумные эмульсии

Нефтяные битумы – это органические вещества черного или темного цвета, которые содержат смесь высокомолекулярных соединений углеводородов и их производных, включающих серу, кислород, азот, ванадий, железо, никель, натрий и др. [49].

Битум обладает плотностью около 1000 кг/м^3 , низкой тепло- и электропроводностью, достаточно устойчив к воздействию различных химических реагентов и различных видов излучения, водо- и газонепроницаем. Исходным сырьем для получения битумов служит нефть. Исходя из происхождения битумы классифицируются на следующие виды:

- природные – образовавшиеся в результате разлива нефти из-за испарения из нее легких фракций и частичного окисления кислородом воздуха. Они существуют в виде асфальтовых пород, например песка, пористого

известняка, пропитанных битумом (содержание от 5 до 20 %). Данные породы существуют в Венесуэле, Канаде, на острове Тринидат. В России на Сахалине имеются месторождения битумных озер, которые состоят из чистых битумов. Мировые запасы природного битума составляют более 500 млрд. т.

- искусственные – образовавшиеся при получении из нефти топлива и масел – нефтяные битумы в качестве остатка.

Нефтяные вязкие битумы по способу производства бывают окисленные, компаундированные и остаточные, а нефтяные жидкие битумы – разжиженные и остаточные [49].

Битумы – это сложная органическая смесь высокомолекулярных органических соединений углеводородного и неуглеводородного строения, которая содержит углерод, водород, кислород, серу, азот, а также ряд металлов, например, Fe, Mg, V, Ni. Содержание элементов в составе битумов следующий:

- углерод от 80 до 85 %;
- водород от 8 до 11,5 %;
- кислород от 0,2 до 4 %;
- сера от 0,5 до 7 %;
- азот от 0,2 до 5 % [49].

Так как битумы обладают сложным строением, то достаточно сложно выделить индивидуальные соединения из состава битума, за исключением парафинов. Компоненты, входящие в состав битума, классифицируют на группы, которые имеют разную растворимость.

Основные группы соединений в битуме:

- масла (углеводороды) – наиболее легкая часть битума. Содержание их в битуме от 45 до 60%. Масла содержат углеводороды парафинового, нафтенового и ароматического рядов. За счет них битум является подвижным и текучим. При увеличении количества масел снижается вязкость битума;
- смолы – это легкоплавкие, вязкопластичные вещества, за счет которых битум обладает эластичностью и водоустойчивостью. Содержание их

в битуме составляет 20 – 40 %. В состав смол входят конденсированные циклические системы ароматических, циклопарафиновых и гетероциклических углеводородов. В них содержится самое большое количество сернистых, азотистых и кислородных производных углеводородов, за счет чего улучшается адгезия битумов к каменным материалам. Так же это улучшает формирование на них водоустойчивых пленок;

- асфальтены – продукт уплотнения смол, наиболее высокомолекулярная составляющая битума [49].

Смолы и масла часто объединяют в одну группу – мальтены.

Битумная эмульсия – дисперсная система, которая состоит из двух жидкостей, которые не растворимы друг в друге, и представляет собой однородную жидкость малой вязкости, обычно темно-коричневая или черная. Одна из жидкостей (дисперсная фаза) тонко измельчена (диспергирована) и находится в другой жидкости (дисперсионной среде).

Использование битумных эмульсий в дорожном строительстве имеет ряд преимуществ перед битумом:

- улучшает качество эмульсионно-минеральных смесей и материалов, получаемых при смешении на дороге;
- не надо подвергать сушке и нагреву каменные материалы, так как на влажной поверхности зерен эмульсия растекается лучше, поэтому большие и энергоемкие сушильные барабаны не нужны. За счет этого уменьшается расход топлива и электроэнергии, а так же улучшается состояние атмосферы, так как сушильные барабаны являются загрязнителями. Благодаря этому технология приготовления дорожного покрытия становится энерго- и ресурсосберегающей, более экологически чистой;
- появляется возможность обрабатывать эмульсиями влажный каменный материал и производить работы в сырую и холодную погоду при температуре воздуха до 5 °С, что продлевает дорожно-строительный сезон и снижает себестоимость работ;

- повышается производительность асфальтосмесительных установок на 15 – 20 % благодаря ускорению стадии смешения эмульсии с минеральными материалами;

- улучшается однородность смесей и материалов за счет улучшения смачивания зерен эмульсией, ее растекания по поверхности зерен, равномерного распределения эмульсии в перемешиваемом объеме смеси [49].

Классификация эмульсий и эмульгаторов.

В зависимости от химической природы поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые применяются как эмульгаторы, битумные и битумно-полимерные эмульсии можно разделить на следующие виды [50]:

- анионные – ЭБА, ЭБПА;
- катионные – ЭБК, ЭБПК.

В зависимости от устойчивости при смешивании с минеральными материалами эмульсии подразделяются на классы:

- быстрораспадающиеся (анионные: ЭБА-1, ЭБПА-1; катионные: ЭБК-1 и ЭБПК-1);
- среднераспадающиеся (анионные: ЭБА-2, ЭБПА-2; катионные: ЭБК-2 и ЭБПК-2);
- медленнораспадающиеся (анионные: ЭБА-3, ЭБПА-3; катионные: ЭБК-3 и ЭБПК-3).

Показатели свойств эмульсий должны соответствовать требованиям, установленным в таблице 5.

Таблица 5 – Требования к катионным эмульсиям

Наименование показателя	Значение для эмульсии класса					
	ЭБК-1	ЭБК-2	ЭБК-3	ЭБПК-1	ЭБПК-2	ЭБПК-3
Устойчивость при перемешивании и со смесями минеральных материалов: • пористого зернового состава • плотного зернового состава	Не смешивается	Смешивается	Смешивается	Не смешивается	Смешивается	Смешивается
	Не смешивается	Не смешивается	Смешивается	Не смешивается	Не смешивается	Смешивается
Содержание вяжущего с эмульгатором, % по массе	50 – 70	50 – 60	55 – 60	55 – 70	55 – 65	55 – 60
Условная вязкость при 20 °С, с	10 – 65	10 – 25	15 – 25	15 – 65	15 – 40	15 – 25
Сцепление с минеральными материалами, балл, не менее	5	5	4	5	5	4
Устойчивость при транспортировании	Не должен происходить распад эмульсии на воду и вяжущее					

1.5. Асфальтобетонные смеси и асфальтобетон

Асфальтобетонная смесь – это смесь пропорционально подобранных минеральных материалов (щебень (гравий), песок, минеральный порошок) и битума, которые взяты в определенных соотношениях. Материал, полученный путем смешения битума с минеральным порошком, называется асфальтовым вяжущим [30].

Асфальтобетон – это уплотненная асфальтобетонная смесь.

Исходя из вида минерального составляющего асфальтобетонные смеси и асфальтобетон различаются на:

- щебеночные;
- гравийные;
- песчаные.

В зависимости от температуры укладки асфальтобетонные смеси делятся на:

- горячие – температура укладываемой смеси не ниже 120 °С;
- холодные – температура укладываемой смеси не ниже 5 °С.

Смеси и асфальтобетоны исходя из наибольшего размера минеральных зерен подразделяются на:

- крупнозернистые – размер зерен до 40 мм;
- мелкозернистые – размер зерен не более 20 мм;
- песчаные - размер зерен не более 10 мм;

Асфальтобетоны в зависимости от величины остаточной пористости подразделяются на следующие виды:

- высокоплотные – остаточная пористость составляет 1,0 – 2,5 %;
- плотные – остаточная пористость составляет 2,5 – 5,0 %;
- пористые – остаточная пористость составляет 5,0 – 10,0 %;
- высокопористые – остаточная пористость больше 10 %;

Горячие смеси с щебнем и гравием и плотные асфальтобетоны в подразделяются на несколько типов исходя из содержания в них щебня (гравия):

- А – содержание щебня составляет 50 – 60 %;
- Б – содержание щебня (гравия) составляет 40 – 50 %;
- В – содержание щебня составляет 30 – 40 %;

Содержание щебня в высокоплотных горячих смесях и асфальтобетонах должны быть в пределах 50 – 70 %.

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов подразделяют на марки, указанные в таблице 6.

Таблица 6 – Марки асфальтобетонов

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Марка
Горячие:	
- высокоплотные	I
- плотные типов:	
А	I, II
Б, Г	I, II, III
В, Д	II, III
- пористые	I, II
- высокопористые щебеночные	I
- высокопористые песчаные	II

1.5.1. Технические требования

Прочность асфальтобетонов должна соответствовать требованиям, указанным в таблице 7, а водонасыщение должно соответствовать требованиям, указанным в таблице 8.

Таблица 7 – Требования к прочности асфальтобетонов

Наименование показателя	Значение для асфальтобетонов марки								
	I			II			III		
	Для дорожно-климатических зон								
	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Предел прочности при сжатии, при температуре 50 °С, МПа, не менее, для асфальтобетонов:									
• высокоплотных:	1,0	1,1	1,2	-	-	-	-	-	-
• плотных типов:									
A	0,9	1,0	1,1	0,8	0,9	1,0	-	-	-
Б	1,0	1,2	1,3	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,1
В				1,1	1,2	1,3	1,0	1,1	1,2
Г	1,1	1,3	1,6	1,0	1,2	1,4	0,9	1,0	1,1
Д	-	-	-	1,1	1,3	1,5	1,0	1,1	1,2
Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не менее	2,5	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0
Предел прочности при сжатии, при температуре 0 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не более	9,0	11,0	13,0	10,0	12,0	13,0	10,0	12,0	13,0

Таблица 8 – Требования к водонасыщению асфальтобетонов

Вид и тип асфальтобетонов	Значение водонасыщения	
	образцы, отформованные из смеси	вырубки и керны готового покрытия, не более
Высокоплотный	1,0 (0,5) – 2,5	3,0
Плотные типов:		
A	2,0 (1,5) – 5,0	5,0
B, B и Г	1,5 (1,0) – 4,0	4,5
Д	1,0 (0,5) – 4,0	4,0

1.6. Гранулирование

Гранулирование получило применение в химической, нефтехимической, металлургической, пищевой и других отраслях, так как позволяет получать продукты, обладающие хорошей сыпучестью, высокой плотностью, прочной структурой, однородностью по размерам и не пылящие при транспортировке [51].

Гранулирование включает в себя физические и физико-химические процессы, благодаря которым происходит образование частиц определенного размера, формы, нужной структуры и с определенными физическими свойствами [52]. В общем случае гранулирование состоит из нескольких технологических стадий [51]:

- подготовка, дозирование и приготовление смеси из исходных компонентов;
- гранулообразование, которое состоит из процессов агломерации, наплаивания, окатывания, кристаллизации, уплотнения и др.;
- образование структуры;
- разделение частиц по размерам (сортировка) и измельчение крупных фракций для выделения товарного продукта.

Гранулирование классифицируют по изменению агрегатного состояния сред, так как в процессе гранулирования она меняется [52]:

- из жидкости – путем диспергирования на капли и дальнейшем обезвоживании или охлаждении, при котором происходит кристаллизация растворенного вещества;
- из твердой фазы – с помощью прессования и дальнейшим измельчением для получения гранул необходимого размера;
- из смеси жидкой и твердой фаз – агломерацией порошков с дальнейшим окатыванием агломератов и удалением жидкой фазы, при котором происходит упрочнение связей между частицами;

- из газообразной фазы – конденсацией, при которой образуются твердые гранулы;
- из смеси жидкой и газообразной фаз – при протекании химической реакции;
- из смеси твердой, жидкой и газообразной фаз – при протекании химической реакции.

При гранулировании частицы нужного размера образуются одновременно или постепенно. Исходя из этого, процессы гранулирования делятся на процессы, в которых [52]:

- не происходит изменения размера частиц во времени;
- происходит изменение размера частиц во времени;
- образуются новые частицы, и происходит рост уже имеющихся частиц.

Исходя из требований к зерновому составу продукта, мелкие частицы, которые получаются в процессе гранулирования, могут быть возвращены обратно в процесс (ретурный процесс) или постоянно выводятся из процесса (безретурный процесс).

Механизм гранулообразования влияет на эффективность процесса гранулирования. Он зависит от способа гранулирования и аппаратуры, на котором проводится процесс. Исходя из этого, методы гранулирования подразделяются на [52]:

- окатывание – гранулы формируются в процессе агрегации или послойного роста с дальнейшим уплотнением структуры;
- диспергирование жидкости в свободный объем или нейтральную среду – в процессе охлаждения в газе или жидкости образуются и отвердевают капли жидкости;
- диспергирование жидкости на поверхность гранул, находящихся во взвешенном состоянии – тонкие пленки кристаллизуются при их охлаждении или высушивании на поверхности гранул;

- прессование сухих порошков – изготовление брикетов, плиток и т. п. с дальнейшим их измельчением до нужного размера;
- формование или экструзия – продавливание вязкой жидкости или пастообразной массы через отверстия.

1.6.1. Гранулирование окатыванием

Гранулирование окатыванием – это процесс, при котором происходит предварительное образование агломератов из равномерно смоченных частиц или наслаивание сухих частиц на центры граунлообразования – смоченные ядра. Данный процесс осуществляется за счет действия капиллярно-адсорбционных сил сцепления между частицами и дальнейшим уплотнением структуры, которое вызвано силой взаимодействия частиц друг с другом в плотном динамическом слое.

На данный момент окатывание производится в основном по трем схемам, которые различаются между собой предысторией комкуемого материала.

По первой схеме материал подается в гранулятор с близким к оптимальному содержанию жидкой фазы. Эта схема характерна для окатывания тонкодисперсных продуктов фильтрации после глубокого обогащения. Это схема характеризуется большой скоростью образования и роста гранул, но процесс является нестабильным, так как часто колеблется влажность кека [53].

По второй схеме исходное сырье подается в гранулятор без увлажнения. Для увлажнения во время грануляции подают жидкую связку. Трехфазовая комкуемая система образуется во время гранулирования. Преимуществами этой схемы являются четкость и оперативность регулирования процесса. Однако у данной схемы есть отрицательные стороны:

- замедленная скорость формирования гранул, вследствие того что она лимитируется явлениями смачивания;
- неизбежная сегрегация материала при окатывании, что приводит к ухудшению показателя однородности гранул;

- образование большого количества пыли [53].

Промежуточным способом является «полумокрое» окатывание. В данном способе исходное сырье поступает в гранулятор увлажненным до влажности 70 – 80 % от оптимального для окатывания количества жидкой фазы, необходимой для ведения процесса. Остальная влага поступает в гранулятор в процессе гранулирования. Данный способ наиболее распространен в производстве, так как скорость образования гранул не лимитируется явлениями смачивания, а процесс гранулообразования можно легко регулировать [53].

При окатывании дисперсного материала происходят три основные стадии гранулообразования, которые не зависят от способа гранулирования, - это образование зародыша, рост и уплотнение гранул. Уплотнение гранул происходит как при образовании устойчивого зародыша, так и во время его роста, но как самостоятельная стадия проявляется лишь в заключительном периоде гранулирования. Более плотные, следовательно, более прочные агрегаты ускоряют и стабилизируют процессы образования зародышей и роста гранул.

2 Методы исследования

2.1. Определение влажности

Влажность – это содержание влаги в материале в данный момент времени. Её можно определять различными методами: высушиванием вещества в сушильном шкафу, с использованием прибора с инфракрасной лампой, титрованием реактивом Фишера, динамическим, хроматографическим и диэлькометрическим методами. На выбор метода определения влаги оказывают влияние свойства материала, тип и характер распределения воды в нем и технико-экономические соображения.

В данной работе определение влажности исходной золы определяли по разности масс навески до и после высушивания. Высушивание проводилось в сушильном шкафу, так же использовались эксикатор с осушителем, бюксы от 2 до 4 шт. на аналитическую пробу золы, весы аналитические [54].

На аналитических весах определяют вес пустого чистого бюкса (m_0). Из аналитической пробы отбирают примерно 1 грамм исследуемой золы, далее помещают навеску в бюкс, закрывают и взвешивают на аналитических весах – (m). Бюксы с золой помещают в сушильный шкаф и сушат до постоянной массы. Предварительно охлажденный в эксикаторе бюкс взвешивают на аналитических весах – (m_1).

Рассчитывают относительную и абсолютную влажности золы по формулам (4):

$$W = \frac{m - m_1}{m_1 - m_0} \cdot 100\% \quad (4)$$

В качестве результата анализа берут среднее арифметическое из 2-х или более параллельно проведенных опытов.

2.2. Определение гранулометрического состава

Одной из одной из важнейших задач химической технологии является производство неорганических веществ с заданными свойствами. Наряду с такими характеристиками сыпучих материалов, как химический состав, гигроскопичность, нередко особые требования предъявляются к дисперсности (раздробленности) веществ. Технологические свойства сыпучего материала определяются дисперсностью, которая выражается функцией распределения частиц (зерен) по крупности или удельной поверхностью частиц.

При оценивании степени дисперсности применяют следующие характеристики: наименьший и наибольший размер частиц, их разность (или их отношение); средний размер частиц; зерновой (гранулометрический) состав; удельная поверхность и др., но наиболее полно дисперсность характеризует зерновой (гранулометрический) состав.

Определение зернового (гранулометрического) состава может производиться различными методами:

- Методами ситового анализа;
- Методами седиментационного анализа:
 - воздушная седиментация;
 - жидкостная седиментация.
- Оседанием в гравитационном поле;
- Весовыми способами и приборами;
- Пипеточными способами и приборами;
- Отмучиванием суспензии;
- Ареометрическими и поплавковыми способами и приборами;
- Турбидиметрическими способами;
- Оседанием в поле центробежных сил;
- Пробирочными центрифугами;
- Роторными центрифугами;

- Методами микроскопического анализа:
 - оптическая микроскопия;
 - электронная микроскопия.

Гранулометрический или зерновой состав материала – это характеристика, выражающая зависимость количества частиц от их размера. В промышленности гранулометрический состав определяется с помощью ситового анализа.

Ситовой анализ – один из наиболее простых и наглядных методов определения зернового состава. Он основан на механическом разделении частиц по размерам на решетках или ситах с отверстиями различной величины на классы крупности. Материал, который остался на сите после просева называется «остаток», а прошедший через сито – «проход» [55].

Лабораторные сита это цилиндры высотой 50 – 80 мм и диаметром 200 мм, низ которых затянут сеткой (ситом). Сита можно надеть одно на другое благодаря соответствующей штамповке ободов сит.

Размер сита это длина стороны квадратной ячейки, которая образуется переплетением ткани или сетки. Нижняя граница размеров ячеек сит в ГОСТ 3584 – 73 находится около 40 мкм [56]. Модуль набора сит это величина постоянная, которая равна отношению размера ячеек сита к размеру отверстия последующего, более мелкого сита. Отношение суммы площадей отверстий к общей поверхности сита также величина постоянная и она равна 36 % для всего ряда сит.

Полный ситовой анализ для определения степени дисперсности при машинном рассеве проводился в следующем порядке:

1. Пробу измельченного сыпучего материала помещали на сито с наибольшим размером ячеек в используемом наборе и просевали. При рассеве сита ставили друг на друга, благодаря чему разделение пробы на фракции происходило за одну операцию.

2. Для того чтобы процесс рассеивания анализируемой пробы шел лучше набор сит устанавливали на вибростол.

3. С помощью регулятора, который находится на приборе, устанавливали интенсивность вибрации (8 – 9) и время просеивания (15 – 20 мин.).

4. Число фракций не должно быть меньше 5 и больше 20. Размеры частиц получаемых фракций определяются размерами отверстий сита.

5. Материал, который прошел через сито («проход»), падает на следующее сито, более тонкое, и так до последнего, самого тонкого.

Результаты ситового анализа для образца исследуемой золы представлены в виде гистограммы, помольной характеристики материала.

Просеивание осуществлялось через набор сит на вибростоле в течение 20 минут. Остаток на каждом сите после просеивания отбирался и взвешивался. После отбора остатка каждое сито прометалось мягкой кистью. Застрявшие в ячейках частички добавлялись к следующему (нижнему) ситу. После был определен вес каждого класса.

2.3. Определение удельной поверхности

Удельная поверхность дисперсного вещества – это сумма поверхностей всех зерен, которые содержатся в 1 г этого вещества, кроме поверхности мест контакта зерен между собой. Она является важной характеристикой, позволяющей установить структурирующую способность материала в качестве модифицирующей добавки битума.

Для определения удельной поверхности мелкодисперсных зерновых материалов существуют различные методы. Одним из наиболее часто применяющихся методов является метод с применением поверхностномера ПСХ-2. Сущность данного метода заключается в измерении сопротивления, оказываемого уплотненным слоем испытуемого материала определенной толщины и площади поперечного сечения воздуху, который просасывается под некоторым постоянным давлением через данный слой [54].

Способ определения удельной поверхности сыпучих материалов с использованием прибора ПСХ-2 наиболее прост и поэтому наиболее распространен.

Принцип действия прибор ПСХ-2, изображенного на рисунке 5, основан на зависимости воздухопроницаемости слоя порошка от величины его удельной поверхности.

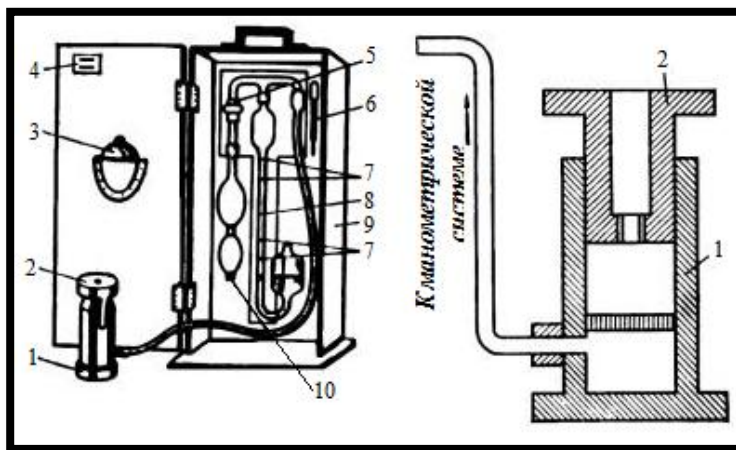


Рисунок 5 – Прибор Л. С. Соминского и Г. С. Ходакова (ПСХ-2) для определения площади удельной поверхности порошка

Слева – общий вид: 1 – кювета; 2 – плунжер; 3 – секундомер; 4 – таблица со значениями постоянных прибора; 5 – кран; 6 – термометр; 7 – риски; 8 – стеклянная бюретка; 9 – футляр; 10 – резиновая груша; справа – схема кюветы (1) с плунжером (2).

Для определения удельной поверхности испытуемый материал предварительно высушили при температуре 105 – 110 °С до постоянной массы и охладили до комнатной температуры.

Взвесили с точностью до 0,01 г навеску весом 10 г из расчетной формулы (6):

$$P = 3,33 \cdot \gamma_2, \quad (6)$$

где γ – удельный вес материала.

Удельный вес для золы составил 3 г/см³, поэтому навеска составила 10 г.

В кювету положили вырезанный кружок фильтровальной бумаги, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру кюветы. Высыпали на

него исследуемый материал. Легким постукиванием разровняли слой материала, накрыли сверху фильтровальным кружком и уплотнили при помощи плунжера при нажатии на него рукой.

Пользуясь нониусом (вспомогательная шкала, устанавливаемая на различных измерительных приборах и инструментах, служащая для более точного определения количества долей делений основной шкалы) на планке и шкалой на внешней поверхности кюветы измерили толщину слоя материала L .

Далее, убрали плунжер из кюветы, открыли кран и при помощи груши создали разрежение под слоем исследуемого материала. Данное разрежение создали таким, что жидкость в манометре поднялась до уровня верхней колбы.

Затем, закрыли кран, и по секундомеру измерили время T (в секундах), за которое мениск жидкости в манометре проходит между двумя соседними рисками. Так как столб жидкости оседал достаточно быстро, то замер времени прохождения мениска измеряли между рисками в середине шкалы, т. е. между 3 – 4 рисками.

При выполнении опыта также измерили и записали температуру окружающего воздуха в момент определения.

Величину удельной поверхности испытуемого материала производили по формуле (7):

$$S = K \cdot \frac{M\sqrt{T}}{P}, \text{ см}^2/\text{г}, \quad (7)$$

где K – постоянная прибора для той пары рисок, между которыми наблюдалось падение столба жидкости за время T (значение K для рисок 3 – 4 составило 11,2); M – величина, зависящая от толщины слоя L и температуры воздуха t во время опыта; P – величина навески материала, г.

Необходимо провести проверку герметичности прибора. Для этого кювету плотно закрывают резиновой пробкой, создают разрежение в приборе при помощи груши и наблюдают за поведением жидкости в манометре. При герметичном приборе уровень жидкости не изменяется.

Так же проверяют точность измерительного устройства, потому что правильность результатов испытания зависит от высоты слоя испытуемого материала. Для этого в кювету укладываются два кружочка фильтровальной бумаги, вырезанные по её внутреннему диаметру, опускается плунжер в кювету и далее проверяется точность совпадения нулевых давлений нониуса и шкалы. При несовпадении положений нулевых делений необходимо это учитывать при измерении высоты слоя материала или устранить.

2.4. Определение насыпной плотности

Насыпная плотность – это отношение массы зернистых материалов в виде порошка или гранул ко всему занимаемому ими объему, включая и пространства между частицами [58].

Для определения насыпной массы золы, материал насыпают с высоты 10 см на деревянную горку, с которой он далее ссыпается в заранее взвешенный сосуд. Материал насыпают до той степени, чтобы над верхом сосуда образовался конус из исследуемого материала. Далее, без уплотнения, осторожно, металлической линейкой выравнивают поверхность порошка из исследуемого материала вровень с краями сосуда. После этого сосуд с порошком взвешивают.

Насыпную (объемную) массу порошка в кг/м³ рассчитывают по формуле (8):

$$\gamma_n = \frac{q_2 - q_1}{V}, \quad (8)$$

где q_1 – вес мерного сосуда, кг;

q_2 – вес мерного сосуда с порошком, кг;

V – объем мерного сосуда (цилиндра), м³.

2.5. Определение истинной плотности

Истинная плотность – это отношение массы к объёму тела в сжатом состоянии, т.е. без учёта пор и зазоров между частицами (истинный объём).

Определение истинной плотности золы проводили по методическим указаниям, приведенным в «Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Приборы и методы исследования технологии неорганических веществ». Определение истинной плотности материалов пикнометрическим методом» [61].

Различные методы жидкостной пикнометрии основаны на объемном или весовом определении количества пикнометрической жидкости, заполняющей поры твердого тела или вытесняемой им при погружении в жидкость. В данных методах для того, чтобы измерить плотность твердого тела, используются сосуды со строго определенным объемом, называемые пикнометрами. На рисунке 6 изображены различные типы пикнометров.

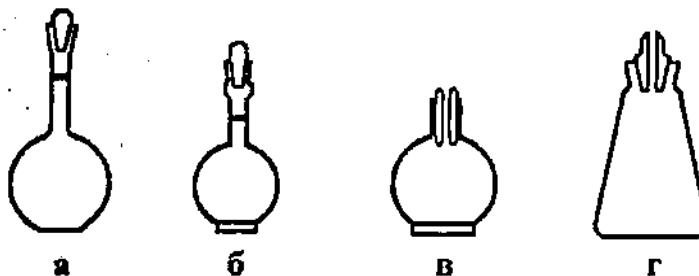


Рисунок 6 – Типы пикнометров

а, б – крупнообъемные с широким горлышком; в, г – с капиллярными пробками.

Для проведения анализа исследуемую золу предварительно просушивают при температуре 105 – 110 °С до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры.

Сухой пикнометр на 50 мл взвешивают (P_0) и заполняют пикнометрической жидкостью (дистиллированной водой). Далее, пикнометр снова взвешивают (P_3). После того, как взвесили пикнометры с

пикнометрической жидкостью, жидкость выливают и просушивают пикнометры.

После просушки, уже в сухой пикнометр помещают навеску исследуемого материала примерно на одну треть объема пикнометра, и также взвешивают (P_1). Далее заливают на две трети пикнометрической жидкостью. Оставляют образцы в пикнометрах до их полной пропитки пикнометрической жидкостью. Как стали выделяться пузырьки воздуха – материал полностью пропитался жидкостью.

В предварительно нагретую песчаную баню устанавливают пикнометры для термостатирования примерно на 15 минут.

Далее остужают пикнометры, доливают пикнометрическую жидкость точно до метки и взвешивают (P_2).

Истинную плотность исследуемого материала определяют по формуле (9):

$$d = \frac{P_1 - P_0}{P_3 + (P_1 - P_0) - P_2}, \text{ г/см}^3, \quad (9)$$

где P_0 – вес пустого пикнометра, г;

P_1 – вес пикнометра с навеской, г;

P_2 – вес пикнометра с навеской и пикнометрической жидкостью, г;

P_3 – вес пикнометра с пикнометрической жидкостью, г.

2.6. Вещественный состав золы ТЭЦ

Важным этапом на пути использования зольного и шлакового сырья является его классификация, которая основана на наиболее характерных критериях качества материала:

- модуль основности (гидравлический модуль) – M_o ;
- силикатный (кремнеземистый) модуль – M_c ;
- коэффициент качества (гидравлическая активность) – K .

Модуль основности (гидравлический модуль) – это отношение содержания основных оксидов к сумме кислотных оксидов. При M_o больше 1 золошлаки являются основными, которые обладают вяжущими свойствами, а при M_o меньше 1 золошлаки являются кислыми, которые служат гидравлической добавкой. Для того, чтобы учесть влияния щелочных компонентов в формулу модуля основности так же включаются оксиды натрия и калия [1].

$$M_o = \frac{CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3}$$

Силикатный (кремнеземистый) модуль определяется отношением количества оксида кремния, который вступает в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа. Физический смысл силикатного модуля заключается в том, что данный модуль пропорционален отношению минералов силикатов к минералам плавням.

$$M_c = \frac{SiO_2}{Fe_2O_3 + Al_2O_3}$$

Гидравлическая активность оценивается коэффициентом качества и равна отношению оксидов, которые повышают гидравлическую активность, к оксидам, которые ее снижают. Поэтому, чем больше значение коэффициента качества, тем более гидравлически активен золошлак. Значения модулей и коэффициента качества обычно находятся в определенных интервалах. При большом значении модуля основности, материал обладает высокими вяжущими свойствами, следовательно, большой прочностью при затвердевании. При равных условиях и при высоком силикатном модуле материал схватывается и твердение происходит медленно, но его прочность со временем возрастает.

$$K = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + TiO_2}$$

Эти три показателя являются важными классификационными признаками материала, которые дают информацию об определенных свойствах и показывают соотношение главных компонентов.

Все золошлаковые материалы в зависимости от состава делятся на три группы: активные, скрыто активные, инертные [62].

Таблица 9– Классификация топливных отходов от сжигания твердого топлива

Химические свойства		Золошлаковые материалы		
		Активные	Скрыто активные	Инертные
Показатели качества	M_o	0,5 – 2,8	0,1 – 0,5	< 0,1
	M_c	1,5 – 7,8	1,4 – 3,6	1,3 – 3,2
	K	1,0 – 3,6	0,5 – 1,3	0,4 – 0,9
Области использования		Обладают свойством самостоятельного твердения; применяются для возведения дамб золошлакоотвалов без специальных мероприятий (введение вяжущих веществ), а также для производства изделий на их основе, преимущественно автоклавного твердения.	Производство изделий, которые твердеют при тепловой обработке с активизаторами. Дорожное строительство.	Дорожное строительство, производство кирпича, зольного гравия. Техногенный грунт.

2.7. Определение механической прочности гранул

Одним из основных показателей качества гранул является их прочность. Гранулы, имеющие недостаточную прочность, легко разрушаются, например, при транспортировке. Методы оценки прочности основаны на механических испытаниях, как отдельных гранул, так и значительной их массы. Методы, которые основаны на принципе однократного силового нагружения гранул до их разрушения (сжатие, изгиб, срез, растяжение), неполно характеризуют прочностные свойства гранул. Так же эти методы не обеспечивают

стабильность результатов даже при большом количестве повторений. Поэтому они не нашли применения [59].

Механические свойства каменных материалов характеризуются их прочностью, т. е. способностью сопротивляться разрушающему действию внешних механических сил.

Так как края гранулы не достаточно ровные, распределение раздавливающего усилия происходит неравномерно и поэтому полученные данные носят удельный характер и нуждаются в статической обработке.

Прочность (Π) – это отношение среднего разрушающего усилия (F) образцов к площади гранулы:

$$\Pi = \frac{F}{S_{\text{гр}}} \quad (10)$$

Где S – площадь гранулы, м^2

$$S_{\text{гр}} = 4\pi R^2 \quad (11)$$

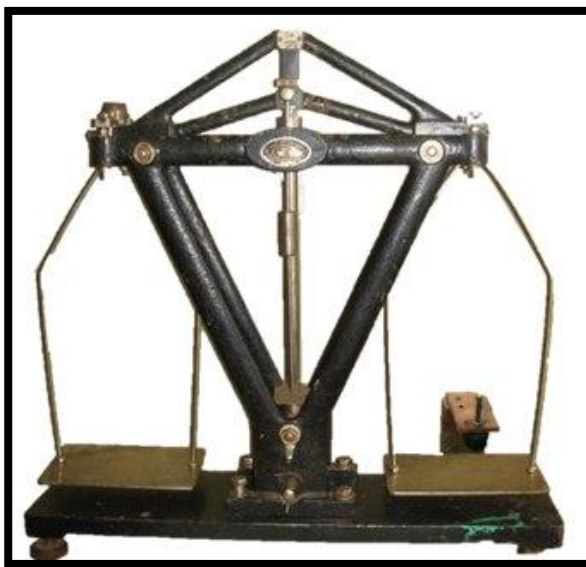


Рисунок 7 – Устройство для определения статической прочности гранул

2.8. Определение потери массы при прокаливании

Навеску пробы массой 1 г, высушивают при температуре 105 – 115 °С, помещают в платиновый или фарфоровый тигель, который предварительно

прокален и взвешен, затем нагревают в муфельной печи при температуре 950 – 1000 °С 30 мин, далее охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Процесс прокаливания повторяется при той же температуре до получения постоянной массы [60].

При определении потери массы при прокаливании шлакопортландцемента, шлака, золы навеску пробы исследуемого материала выдерживают в муфельной печи 1 – 2 мин при температуре 950 – 1000 °С. Прокаливание повторяется до получения постоянной массы.

В материалах, которые содержат органические соединения, а также кристаллизационную воду, потерю массы при прокаливании начинают определять с температуры 400 – 500 °С, прокаливая пробу до постоянной массы.

Потерю массы при прокаливании ($X_{п.п.п}$) в процентах вычисляют по формуле:

$$X_{п.п.п} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m} \quad (12)$$

Где m_1 – масса навески с тиглем до прокаливания, г;

m_2 – масса навески с тиглем после прокаливания, г;

m – масса навески пробы, г.

2.9. Определение водопоглощения заполнителя

Образцы помещают в емкость, которая наполнена водой, уровень которой выше верхнего уровня данных образцов примерно на 50 мм [65].

Их кладут таким образом, чтобы высота образца была как можно меньше (призмы и цилиндры кладут на бок).

Температура воды в емкости поддерживается в интервале 18 – 20 °С.

Образцы взвешивают через каждые 24 ч водопоглощения на обычных или гидростатических весах, которые обладают погрешностью не больше 0,1%.

При взвешивании на обычных весах образцы вынимают из воды, и вытирают выжатой влажной тканью. Масса воды, которая вытекла из пор образца на чашку весов, включается в массу образца, насыщенного водой.

Испытание продолжают до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,1%.

Водопоглощение заполнителя по массе W_M в процентах определяют с погрешностью до 0,1% по формуле:

$$W_M = \frac{(m_B - m_C) \cdot 100}{m_C} \quad (13)$$

Где m_C – масса сухой навески заполнителя, г;

m_B – масса водонасыщенной навески, г.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители

Целевым результатом проведенной исследовательской работы является получение вяжущего на основе золы северской ТЭЦ и битумной эмульсии ЭБК-1 для дальнейшего использования в дорожном строительстве. Так же появляется возможность утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций, которые на данный момент лишь на 10 – 15 % используются в различных отраслях производства.

Основные потребители – компании по производству асфальтобетонных смесей, компании, осуществляющие ямочный ремонт дорог, а так же компании, занимающиеся устройством дорожных одежд.

Сегментация рынка услуг по производству золобитумного вяжущего проводилась по назначению. Карта сегментирования представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Карта сегментирования

	Золобитумное вяжущее	
	как полупродукт	как продукт
Компании по производству асфальтобетонных смесей	+	-
Компании, осуществляющие ямочный ремонт дорог	-	+
Компании, занимающиеся устройством дорожных одежд	-	+

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. К предприятиям – конкурентам в области дорожного строительства можно отнести ООО «Томский асфальтобетонный завод».

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	$B_{к1}$	K_{ϕ}	$K_{к1}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Экологичность	0,2	4	3	0,8	0,6
2. Прочность	0,2	3,5	5	0,7	1
3. Водонасыщение	0,2	5	4	1	0,8
4. Влажность	0,1	5	5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Цена	0,2	5	4	1	0,8
2. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	0,5	0,5
Итого	1	27,5	26	4,5	4,2

B_{ϕ} – продукт проведенной исследовательской работы;

$B_{к1}$ – «Томский асфальтобетонный завод».

Анализ конкурентных технических разработок определяется по формуле (14):

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (14)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из оценочной карты можно видно, что продукт, полученный в ходе исследовательской работы, более ресурсоэффективен по сравнению с конкурентными продуктами.

4.1.3. Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- выявление причин возникновения проблемы;
- анализ и структурирование процессов на предприятии;
- оценка причинно-следственных связей.

Сначала формулируется существенная проблема или дефект качества.

Главные категории потенциальных причин – это оборудование, материалы, человек, процессы, менеджмент, измерительные средства и т.д.. Для каждой главной категории на диаграмму наносятся все вероятные причины проблемы. Диаграмма Исикавы представлена на рисунке 14.

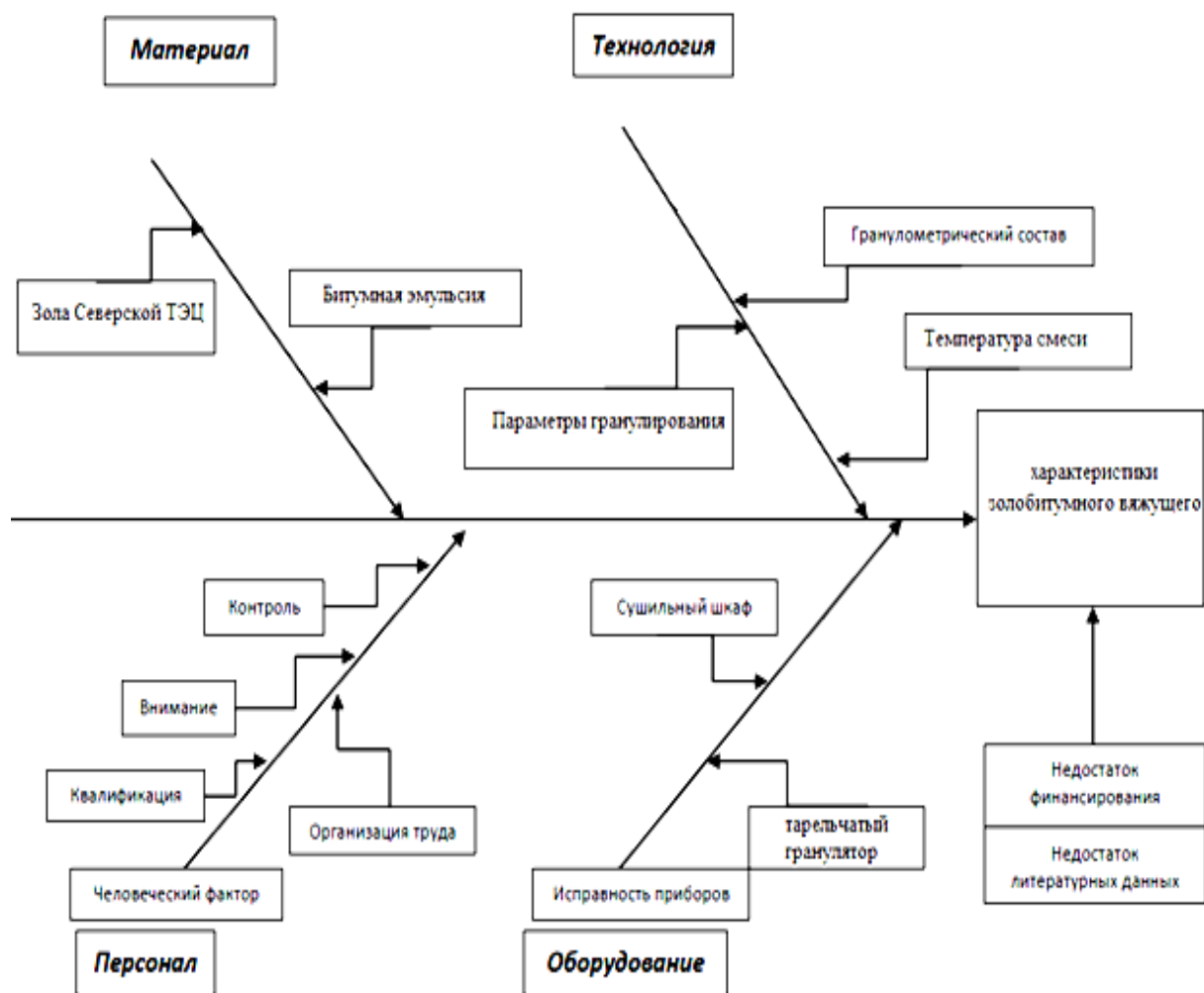


Рисунок 14 – Диаграмма Исикавы

4.1.4. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 23 – матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Экологичность технологии С2.Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3.Использование отходов ТЭЦ в качестве исходного сырья С4.Квалифицированный персонал	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие достаточного финансирования проектов Сл2.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытаний опытного образца
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт	В связи с уникальными свойствами (экологичность, низкая стоимость, использование отходов ТЭЦ) у данной научной разработки есть шансы выйти на российский рынок. Существует необходимость заинтересовать инвесторов, чтобы данная разработка нашла практическое применение в дорожном строительстве.	Для проведения экспериментов по данной теме требуется дорогостоящее оборудование. Поиск инвесторов для финансирования научной работы.
Угрозы: У1.Отсутствие спроса на новые технологии производства У2.Развитая конкуренция технологий производства У3.Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Рост цен на электроэнергию	1.Создание конкурентных преимуществ готового продукта; 2.Привлечение инвесторов для финансирования разработки	1.Приобретение необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца; 2.Продвижение программы с целью создания спроса; 3.Сертификация и стандартизация продукта

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества полученной золобитумной смеси преобладают

над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

4.1.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии календарного цикла не находилась научная разработка, уместным будет оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для проведения (завершения) разработки. Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Перечень вопросов приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	2	3	4
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	4

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	38	56

При проведении анализа по таблице 4 каждый показатель оценивается по пятибалльной шкале. При этом системы измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) различаются.

При оценке степени проработанности научного проекта:

- 1 балл означает непроработанность проекта;
- 2 балла – слабую проработанность;
- 3 бала – выполнено, но есть сомнения в качестве;
- 4 балла – выполнено качественно;
- 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид:

- 1 – не знаком или слабо знаком;
- 2 – в объёме теоретических знаний;
- 3 – владею теорией и практическими примерами применения;
- 4 – владею теорией и самостоятельно выполняю;
- 5 – владею теорией, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле (15):

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (15)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -ому показателю.

По итогам степени готовности научного проекта к коммерциализации $B_{\text{сум}} = 38$. Перспективность научной разработки является средней. Это связано с недостатком финансирования, необходимого оборудования, квалифицированных специалистов, а так же спроса на данный продукт. Для увеличения перспективности необходимо произвести доработку научного проекта.

4.1.6. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов научно-технического исследования можно использовать торговлю патентными лицензиями, то есть, это продажа разработки исследования третьим лицам, а также с помощью организации совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Использование торговли патентными лицензиями, приведет нас к сотрудничеству с зарубежными странами, что повысит эффективность исследования, будет, происходить технологический и научно-технический обмен, обмен опытом работы. При технологическом обмене происходит

экономическое развитие страны и происходит развитие международных экономических отношений.

При совместном предприятии будет происходить привлечение в страну передовых технологий, управленческого опыта, дополнительные и материальные и финансовые ресурсы, привлекают иностранный капитал в отечественную экономику расширение экспортной базы, сокращение импорта, расширение рынков сбыта.

4.2. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта магистерской работы:

4.2.1. Цели и результат проекта

Информация о заинтересованных сторонах проекта представлена в таблице 25.

Таблица 25 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Дорожное строительство	Получить вяжущее на основе золы и битумной эмульсии для укрепления материалов дорожного основания

Таблица 26 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Целью проекта является получение вяжущего на основе золы и битумной эмульсии, обладающего достаточной прочностью, низким водопоглощением и влажностью.
Ожидаемые результаты проекта:	Существенно улучшить технико-экономические показатели.
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность результатов
Требования к результату проекта:	Требование:
	Стандартизация готового продукта

4.2.2. Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представлена в таблице 27.

Таблица 27 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Фролова И. В., к.т.н., доцент	Руководитель проекта	Осуществляет детальное планирование проекта; информацию для создания и актуализации планов работ; контролирует сроки выполнения работ по проекту	120
2	Доржиева А. Б., магистрант	Исполнитель	Выполняет отдельные работы по проекту	480
ИТОГО:				600

4.2.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 28 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения / допущения
Бюджет проекта	Отсутствует
Источник финансирования	Отсутствует
Сроки проекта	1.10.2016 г. – 31.05.2018 г.
Дата утверждения плана управления проектом	1.10.2016 г.
Дата завершения проекта	31.05.2018

4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.3.1. Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 15 представлен шаблон иерархической структуры работ по проекту.



Рисунок 15 – Иерархическая структура работ проекта

4.3.2. Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эту информация сведена в таблицу 29.

Таблица 29 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	2	3	4
1	Литературный обзор по теме проекта	Октябрь, 2016 – Январь, 2017 г.	Литературный обзор в ВКР
2	Постановка цели и задач	Февраль 2017 – Март 2017 г.	Раздел цели и задачи в ВКР

Продолжение таблицы 29

1	2	3	4
3	Разработка плана экспериментальных работ	Апрель, 2017 г.	План работ
4	Определение физико-механических характеристик золы	Апрель 2017 – Май 2017 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
5	Приготовление смеси на основе золы и битумной эмульсии ЭБК-1 и дальнейшее её гранулирование	Сентябрь 2017– Январь 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
6	Определение основных характеристик полученных гранул	Январь – Февраль 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
7	Обсуждение результатов Доработка экспериментальной части ВКР	Март, 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
8	Оформление ВКР	Апрель – июнь 2018 г.	Результаты экспериментов, представленных в ВКР

4.3.3. План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный и линейный график проекта.

Линейный график представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Календарный план проекта


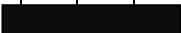






Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных)
1	2	3	4	5	6
1	Составление технического задания	14	03.10.16	16.10.16	Фролова И. В., Доржиева А. Б.

Продолжение таблицы 30

1	2	3	4	5	6
2	Литературный обзор	105	17.10.16	29.01.17	Доржиева А. Б.
3	Теоретический анализ	21	30.01.17	19.02.17	Доржиева А. Б.
4	Постановка задачи исследования	14	20.02.17	5.03.17	Фролова И. В., Доржиева А. Б.
5	Экспериментальная часть	210	6.03.17	5.02.18	Фролова И. В., Доржиева А. Б.
6	Обсуждение результатов	20	6.02.18	25.02.18	Фролова И. В., Доржиева А. Б.
7	Разработка технической документации и проектирование	64	26.02.18	30.04.18	Доржиева А. Б.
8	Оформление ВКР	31	1.05.18	31.05.18	Доржиева А. Б.
Итого:		479			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График представлен в таблице 31.

Таблица 31 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работ ы (из ИСР)	Вид работ	Исполнитель	Т _к , кал, дн.	2016			2017												2018				
				10.2016	11.2016	12.2016	01.2017	02.2017	03.2017	04.2017	05.2017	06.2017	07.2017	08.2017	09.2017	10.2017	11.2017	12.2017	01.2018	02.2018	03.2018	04.2018	05.2018
1	Составление технического задания	Руководитель, дипломник	14																				
2	Литературный обзор	Дипломник	105																				
3	Теоретический анализ	Дипломник	21																				
4	Постановка задачи исследования	Руководитель, дипломник	14																				
5	Экспериментальная часть	Руководитель, дипломник	210																				
6	Обсуждение результатов	Руководитель, дипломник	20																				
7	Разработка технической документации и проектирование	Дипломник	64																				
8	Оформление ВКР	Дипломник	31																				

 - руководитель;

 - дипломник.

4.3.4. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 32.

Таблица 32 – Группировка затрат по статьям

Стоимость сырья, материалов (за вычетом возвратных отходов), покупных изделий и полуфабрикатов, руб.	Стоимость специального оборудования для научных (экспериментальных) работ, руб.	Основная заработная плата, руб.	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды, руб.	Итого плановая себестоимость, руб.
2840,3	38708	232199,78	185759,82	70124,33	529632,23

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 33.

Таблица 33 – Расчет затрат на сырье, материалы

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Зола	2 кг	60	120
Битумная эмульсия	1 кг	20	20
Выпарительная фарфоровая чашка	2 шт	300	600
Бумага фильтровальная	1 уп	150	150
Бюксы	3 шт	150	450
Халат белый х/б	1 шт	1000	1000
Перчатки	10 пар	30	300
Средство, моющее для посуды	1 шт	50	50
Ручка шариковая	1 шт	15	15
Всего за материалы:			2705
Транспортно-заготовительные расходы (5 %):			135,3
ИТОГО:			2840,3

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 34 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№, п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Весы лабораторные аналитические	1	53000
2.	Весы лабораторные технические	1	60000
3.	Сушильный шкаф	1	50000
4.	ПСХ-2	1	15000
5.	Вибростол с ситами	1	20000
6.	Тарельчатый гранулятор	1	73000
ИТОГО:			271000

Таблица 35 – Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования»

Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Срок службы оборудования, лет	Амортизация, руб.
Весы лабораторные аналитические	53000	8	6625
Весы лабораторные технические	60000	8	7500
Сушильный шкаф	50000	10	5000
ПСХ-2	15000	15	15000
Вибростол с ситами	20000	15	20000
Тарельчатый гранулятор	73000	15	4867
ИТОГО:			58992
За период НИР:			38708

Так как оборудования ПСХ-2 и вибростол с ситами стоят меньше 40000 рублей, то мы их просто вписываем по полной стоимости.

Для расчета амортизационных отчислений за год необходимо рассчитать норму амортизации:

$$N_a = \frac{1}{n} \cdot 100\% \quad (16)$$

где n – это срок службы оборудования.

Амортизационные отчисления за год рассчитываются по формуле (17):

$$AO = \frac{W \cdot N_a}{100} \quad (17)$$

где W – это стоимость оборудования.

Амортизационные отчисления за весь период выполнения НИР рассчитывается по формуле (18):

$$З_{AO} = \frac{AO \cdot T_{кт}}{T_{кал}} \quad (18)$$

где $T_{кт}$ – календарный период выполнения темы, дни ($T_{кт} = 479$ (смотреть таблицу 30)).

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 36.

Таблица 36 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Составление технического задания, постановка задачи исследования, экспериментальная часть, обсуждение результатов	Руководитель	153	1081,1	26300
2	Составление технического задания, литературный обзор, теоретический анализ, постановка задачи исследования, экспериментальная часть, обсуждение результатов, разработка технической документации и проектирование, оформление ВКР	Дипломник	479	3,87	1854
ИТОГО:					28154

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (19)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от **предприятия** (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (20)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 35);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\partial}} \quad (21)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 37).

Таблица 37 – Баланс рабочего времени одного исполнителя НИР

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
• выходные дни	45	45
• праздничные дни	19	19
Потери рабочего времени		
• отпуск	48	48
• невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	253	253

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{26300 \cdot 10,4}{253} = 1081,1 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата дипломника:

$$З_{\text{дн}} = \frac{1854 \cdot 10,4}{253} = 76,21 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (k_{\text{нр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (22)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{нр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Месячный должностной оклад руководителя:

$$З_{\text{м}} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад дипломника:

$$З_{\text{м}} = 1854 \cdot 1,3 = 2410,2 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

Основная заработная плата руководителя:

$$Z_{осн} = 1081,1 \cdot 153 = 165408,3 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата дипломника:

$$Z_{осн} = 76,21 \cdot 479 = 36504,59 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 38.

Таблица 38 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_б$	$k_{пр}$	$k_д$	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	-	-	1,3	34190	1081,1	153	165408,3
Дипломник	1854	-	-	1,3	2410,2	76,21	479	36504,59

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (23)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 39 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 39 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата	165408,3	36504,59
Дополнительная зарплата	24811,2	5475,69
Итого по статье $C_{зн}$	190219,5	41980,28

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (24)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления руководителя на социальные нужды (30,2 %):

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 190219,5 = 57446,29 \text{ руб.}$$

Отчисления дипломника на социальные нужды (30,2 %):

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 41980,28 = 12678,04 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 – 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80 – 100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (25)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 232199,78 = 185759,82$$

4.3.5. Организационная структура проекта

Из нескольких базовых вариантов организационных структур, использующихся в практике, нами была выбрана проектная, которую можно изобразить следующим образом:

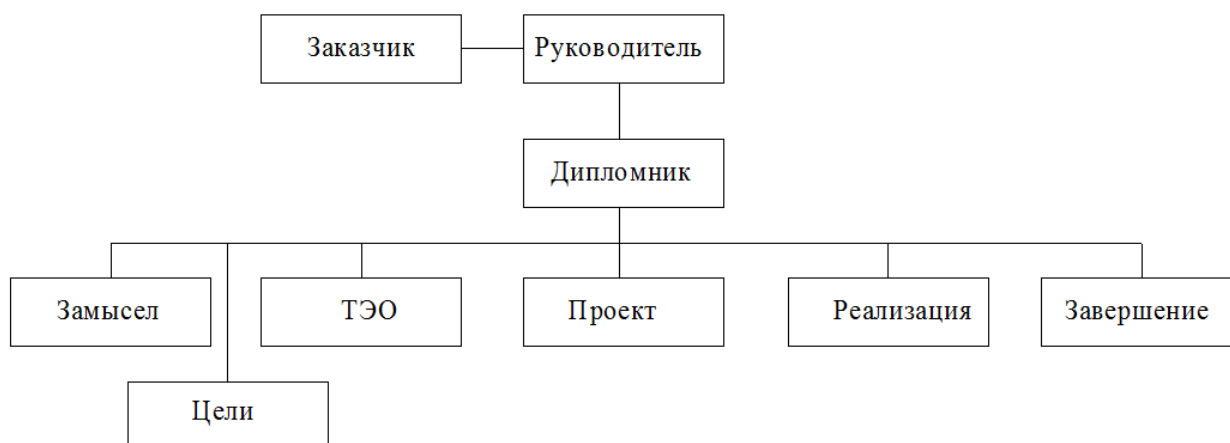


Рисунок 16 – Организационная структура проекта

4.3.6. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таблица 40).

Таблица 40 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Фролова И. В., руководитель проекта	Черепанова Н. В., эксперт	Волков Ю. В., эксперт	Парнюгин А. С., эксперт	Доржиева А. Б., исполнитель
1	2	3	4	5	6
Составление технического задания	О				

Продолжение таблицы 40

1	2	3	4	5	6
Литературный обзор					И
Теоретический анализ					И
Постановка задачи исследования	О, И				И
Экспериментальная часть	О				И
Обсуждение результатов	О				И
Разработка технической документации и проектирование					И
Оформление ВКР	О, С	О, С	О, С	О, С	И

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

- Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.
- Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.
- Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).
- Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

4.3.7. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. План управления коммуникациями приведен в таблице 41.

Таблица 41 – План управления коммуникациями

№, п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передают информацию
1.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Руководителю магистерской диссертации	Еженедельно (пятница)
2.	Документы и информация по проекту	Исполнитель проекта	Руководителю магистерской диссертации	Еженедельно (любой рабочий день)
3.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю магистерской диссертации	Не позже сроков графиков и контрольных точек

4.3.8. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу сведена в таблицу 42.

Таблица 42 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Технический	3	5	Высокий	Повышение требований, проработка технологии	Неисправность оборудования
2	Отсутствие финансирования	4	4	Высокий	Заинтересованность инвесторов	Незаинтересованность в данной разработке
2	Ограничения внедрения на рынок	4	4	Высокий	Провести маркетинговый анализ	Нет рекламы
3	Отсутствие прототипа научной разработки	5	5	Высокий	Выявить сильные и слабые стороны конкурентов	Наличие альтернативных разработок

Из таблицы видно, что уровень риска проекта высокий, прежде всего, из-за незаинтересованности потенциальных потребителей в данной разработке, отсутствия финансирования, а так же из-за имеющихся альтернативных разработок на рынке.

4.4. Оценка сравнительной эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и другие.

Определение сравнительной эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 42). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (26)$$

где I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (27)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже.

Таблица 43 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Золобитумная смесь Текущий проект	Асфальтовая смесь Аналог 1
Использование отходов производства в качестве сырья	0,2	5	3
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5
Прочность	0,2	4	5
Водонасыщение	0,2	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	5
Энергосбережение	0,2	5	5
Итого	1	4,7	4,4

$$I_{mn} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 4,7$$

$$I_{аналог1} = 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 4,4$$

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности, то есть применение золобитумной смеси более эффективно, так как при её использовании утилизируются отходы производства, к тому же она не уступает по остальным характеристикам.

Список публикаций студента

1. Доржиева А. Б., Худорожко У. В. Получение серозолобитумных смесей на основе золы и технической серы // XXI Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» 15 секция, Россия, Томск, 3 – 7 апреля 2017 г.
2. Бедрицкая У. В., Доржиева А. Б., Анненков А. И. Получение гранулированного серозолобитумного вяжущего для ремонта дорожных покрытий // VI Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике» 4 секция, Россия, Томск, 27 – 29 ноября 2017 г.
3. Доржиева А. Б., Бедрицкая У. В. Гранулированная золобитумная смесь для использования в дорожном строительстве // XXII Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» 14 секция, Россия, Томск, 2 – 7 апреля 2018 г.